

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年12月12日(12.12.2024)



(10) 国際公開番号

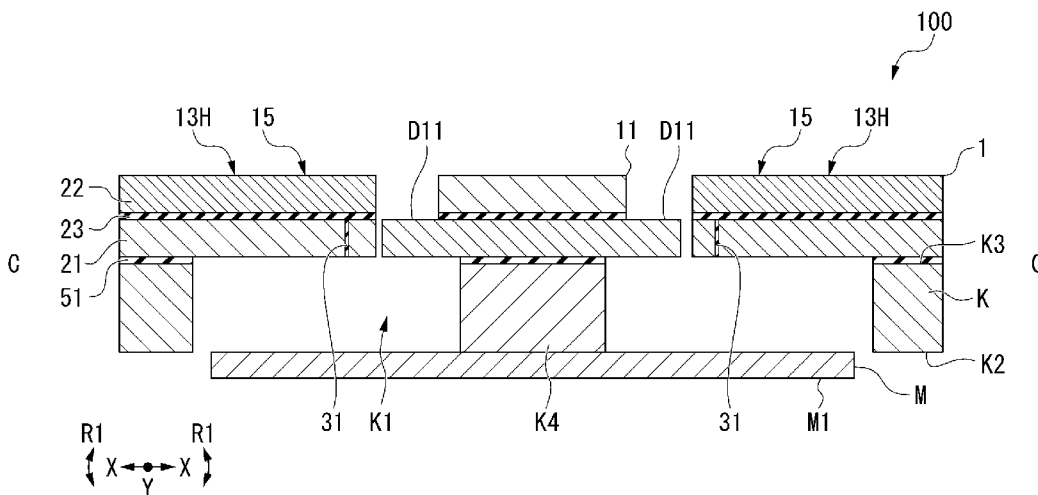
WO 2024/252517 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 26/08 (2006.01) G02B 6/35 (2006.01)
B81B 3/00 (2006.01)
- (72) 発明者: 田中 秀治(TANAKA Shuji); 〒9808577
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国
立大学法人東北大学内 Miyagi (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/020989
- (74) 代理人: 田 ▲ 崎 ▼ 聡, 外 (TAZAKI Akira et
al.); 〒1006620 東京都千代田区丸の内一
丁目9番2号 Tokyo (JP).
- (22) 国際出願日: 2023年6月6日(06.06.2023)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC,
EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR,
HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG,
KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,
LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 国立大学法人東北大学 (TOHOKU
UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒9808577 宮城県仙台
市青葉区片平二丁目1番1号 Miyagi (JP).

(54) Title: MIRROR DEVICE, MIRROR ARRAY, AND MEMS TYPE OPTICAL SWITCH DEVICE

(54) 発明の名称: ミラーデバイス、ミラーアレイ及びMEMS型光スイッチ装置

[図4]



(57) Abstract: This mirror device (100) comprises a housing (K) having a cavity (K1), a mirror (M) disposed on one surface side of the housing (K), a functional layer (1) disposed on the other surface side of the housing (K), and an operation unit (K4) disposed in the cavity (K1) of the housing (K) and connecting the functional layer (1) and the mirror (M), the functional layer (1) being provided with an electrostatically driven first actuator for rotating the mirror (M) in a first rotation direction, an electrostatically driven second actuator for rotating the mirror in a second rotation direction intersecting the first rotation direction, and a terminal unit disposed on a surface on the opposite side of the housing (K).



WO 2024/252517 A1

MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約 : 本発明のミラーデバイス (100) は、空洞部 (K1) を有する筐体 (K) と、筐体 (K) の一面側に配置されたミラー (M) と、筐体 (K) の他面側に配置された機能層 (1) と、筐体 (K) の空洞部 (K1) 内に配置されて、機能層 (1) とミラー (M) とを連結する操作部 (K4) と、を備え、機能層 (1) には、ミラー (M) を第1の回転方向に回動させる静電駆動式の第1アクチュエータと、第1の回転方向と交差する第2の回転方向にミラーを回動させる静電駆動式の第2アクチュエータと、筐体 (K) とは反対側の面に配置された端子部と、が備えられている。

明 細 書

発明の名称：

ミラーデバイス、ミラーアレイ及びMEMS型光スイッチ装置

技術分野

[0001] 本発明は、ミラーデバイス、ミラーアレイ及びMEMS型光スイッチ装置に関する。

背景技術

[0002] 光通信において、光ファイバーの分岐点に、光信号の伝送経路を切り替えるためのMEMS型の光スイッチ装置が備えられている。MEMS型光スイッチ装置の要求事項として、装置内部に、出来るだけ数多くのミラーを密に配設したいという要望がある。

[0003] MEMS型光スイッチ装置の内部には、複数のミラーが配設されたミラーアレイが備えられている。ミラーアレイは、例えば、複数個のMEMSミラーと呼ばれる静電駆動式ミラーデバイスが支持基材に装着されて構成されている。静電駆動式ミラーデバイスは、例えばシリコンチップ上に、ミラーやこれを駆動する櫛歯電極などが形成されたもので、フォトリソグラフィやエッチングなどの技術を用いて、サブミクロンレベルの精度の加工を行うことで製造されたものである。

[0004] MEMS型光スイッチ装置の内部に数多くのミラーを密に配設したいという要望に応えるためには、第一に、静電駆動式ミラーデバイスに搭載されるミラーのサイズを大きくすること、第二に、複数の静電駆動式ミラーデバイスを支持基材上に配置させる際に、静電駆動式ミラーデバイス同士の間隔を狭くすること、が求められる。これにより、ミラーを密に配置することが可能になる。

[0005] しかし、従来の静電駆動式ミラーデバイスの上面には、ミラーのほか、これを駆動する櫛歯状電極、櫛歯状電極に電力を供給するための配線などの周辺回路を配置する必要がある。そのため、従来の静電駆動式ミラーデバイス

は、これらの周辺回路を配置するスペースを確保するために、ミラーのサイズをある程度制限せざるを得ない状況にあった。また、従来の静電駆動式ミラーデバイスを実装する場合、当該デバイスの外部端子と、外部配線とをワイヤーボンディング等で接続する必要がある。その場合、静電駆動式ミラーデバイス間に、外部配線を設置するためのスペースを設ける必要がある。MEMS型光スイッチ装置の内部に複数の静電駆動式ミラーデバイスを配設する場合、外部配線の設置スペースを確保するために、静電駆動式ミラーデバイス同士の間隔を空けざるを得ない状況であった。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2015-146018号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明は上記事情に鑑みてなされたものであって、搭載するミラーのサイズが大きく、かつ、相互に隣接して支持基材上に配置可能な、ミラーデバイス、ミラーアレイ及びMEMS型光スイッチ装置を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上記課題を解決するため、本発明は以下の構成を採用する。

[1] 空洞部を有する筐体と、

前記筐体の一面側に配置されたミラーと、

前記筐体の他面側に配置された機能層と、

前記筐体の前記空洞部内に配置されて、前記機能層と前記ミラーとを連結する操作部と、を備え、

前記機能層には、前記ミラーを第1の回転方向に回動させる静電駆動式の第1アクチュエータと、前記第1の回転方向と交差する第2の回転方向に前記ミラーを回動させる静電駆動式の第2アクチュエータと、前記筐体とは反

対側の面に配置された端子部と、が備えられている、ミラーデバイス。

[2] 筐体と、

ミラーと、

前記筐体の上に配置されて前記ミラーを駆動する機能層と、を少なくとも備え、

前記機能層は、第1半導体層と、第2半導体層と、前記第1半導体層と前記第2半導体層との間に配置された層間絶縁層とを有しており、

前記機能層には、前記ミラーを第1の回転方向に回動させる静電駆動式の第1アクチュエータと、前記第1の回転方向と交差する第2の回転方向に前記ミラーを回動させる静電駆動式の第2アクチュエータと、が備えられ、

前記第1アクチュエータおよび前記第2アクチュエータはそれぞれ、前記第1半導体層よりなる第1櫛歯状電極と、前記第1半導体層、前記層間絶縁層および前記第2半導体層よりなる第2櫛歯状電極と、を有する、ミラーデバイス。

[3] 前記機能層は、第1半導体層と、第2半導体層と、前記第1半導体層と前記第2半導体層との間に配置された層間絶縁層とを有しており、

前記第1アクチュエータおよび前記第2アクチュエータはそれぞれ、前記第1半導体層よりなる第1櫛歯状電極と、前記第1半導体層、前記層間絶縁層および前記第2半導体層よりなる第2櫛歯状電極と、を有する、[1]に記載のミラーデバイス。

[4] 前記機能層には、

前記操作部が接合される第1可動部と、

前記第1可動部を囲むように配置された環状の第2可動部と、

前記第2可動部を囲むように配置されて、前記筐体の前記他面側に接合する固定部と、

前記第2可動部に隣接して、前記筐体の前記他面側に接合する配線部と、

前記固定部及び前記配線部に配置される複数の前記端子部と、

前記第1の回転方向の回転軸方向に延在して前記第1可動部と前記第2可

動部とを接続する第1ねじり梁部と、

前記第2の回転方向の回転軸方向に延在して前記第2可動部と前記配線部とを接続する第2ねじり梁部と、

が備えられ、

前記第1可動部、前記第2可動部、前記固定部、前記配線部および前記第2ねじり梁部は、前記第1半導体層と、前記第1半導体層の少なくとも一部または全部を覆う前記層間絶縁層および前記第2半導体層と、から構成され、

前記第1ねじり梁部は、前記第1半導体層から構成される、[3]に記載のミラーデバイス。

[5] 前記機能層には、

前記ミラーを直接または間接に固定する第1可動部と、

前記第1可動部を囲むように配置された環状の第2可動部と、

前記第2可動部を囲むように配置されて、前記筐体の前記他面側に接合する固定部と、

前記第2可動部に隣接して、前記筐体の前記他面側に接合する配線部と、

前記固定部及び前記配線部に配置される複数の端子部と、

前記第1の回転方向の回転軸方向に延在して前記第1可動部と前記第2可動部とを接続する第1ねじり梁部と、

前記第2の回転方向の回転軸方向に延在して前記第2可動部と前記配線部とを接続する第2ねじり梁部と、

が備えられ、

前記第1可動部、前記第2可動部、前記固定部、前記配線部および前記第2ねじり梁部は、前記第1半導体層と、前記第1半導体層の少なくとも一部または全部を覆う前記層間絶縁層および前記第2半導体層と、から構成され、

前記第1ねじり梁部は、前記第1半導体層から構成される、[2]に記載のミラーデバイス。

[6] 前記第1アクチュエータの前記第1櫛歯状電極は前記第1可動部に設けられ、前記第2櫛歯状電極は前記第2可動部に設けられ、

前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極は前記第2可動部に設けられ、前記第2櫛歯状電極は前記固定部に設けられている、[4]または[5]に記載のミラーデバイス。

[7] 前記固定部は、複数の分割領域に分割されており、

それぞれの前記分割領域には、前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極が設けられており、

それぞれの前記分割領域には、当該分割領域を構成する前記第1半導体層と前記第2半導体層とを電氣的に接続するために前記層間絶縁層を貫通する第1ビアと、前記第2半導体層上にあつて前記第1ビアに接続される第1の端子部と、が備えられ、

前記第1の端子部は、前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する第2半導体層に電氣的に接続されるとともに、前記第1ビアを介して前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層に電氣的に接続される、[6]に記載のミラーデバイス。

[8] 前記環状の第2可動部には、その内側に、前記第1アクチュエータを構成する前記第2櫛歯状電極が設けられるとともに、その外側に、前記第2アクチュエータを構成する前記第1櫛歯状電極が設けられており、

前記第2可動部の前記第1半導体層には、内側の前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極と、外側の前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極とを絶縁分離する埋め込み絶縁層が備えられ、

更に、前記第2可動部には、前記第2半導体層と、内側の前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極の前記第1半導体層とを電氣的に接続するために前記層間絶縁層を貫通する第2ビアが備えられている、[7]に記載のミラーデバイス。

[9] 前記第2ねじり梁部の前記第2半導体層は、前記配線部に設けられた第2の端子部に接続されており、

前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層は、前記配線部に設けられた第3の端子部に接続されており、

前記第2の端子部は、前記第2ねじり梁部を構成する前記第2半導体層と前記第2可動部の前記第2ビアとを介して、前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層と前記第2半導体層とに電氣的に接続されており、

前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層を介して、前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されており、

更に前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部、前記第2可動部および前記第1ねじり梁部のそれぞれの前記第1半導体層を介して、前記第1アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されている、[8]に記載のミラーデバイス。

[10] 前記環状の第2可動部には、その内側に、前記第1アクチュエータを構成する前記第2櫛歯状電極が設けられるとともに、その外側に、前記第2アクチュエータを構成する前記第1櫛歯状電極が設けられ、

前記第2ねじり梁部の前記第2半導体層は、前記配線部に設けられた第2の端子部に接続されており、

前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層は、前記配線部に設けられた第3の端子部に接続されており、

前記第2の端子部は、前記第2ねじり梁部を構成する前記第2半導体層を介して、前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する前記第2半導体層に電氣的に接続されており、

前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層を介して、前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層と、前記第1アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層とに電氣的に接続されており、

更に前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部、前記第2可動部および前

記第 1 ねじり梁部のそれぞれの前記第 1 半導体層を介して、前記第 1 アクチュエータの前記第 1 櫛歯状電極を構成する前記第 1 半導体層に電氣的に接続されている、[7]に記載のミラーデバイス。

[11] 前記固定部は、複数の分割領域に分割されており、

それぞれの前記分割領域には、前記第 2 アクチュエータの前記第 2 櫛歯状電極が設けられており、

それぞれの前記分割領域では、第 2 半導体層が 2 つの領域に分割されており、

前記第 2 半導体層の一方の領域は、前記第 1 半導体層とともに、前記第 2 アクチュエータの前記第 2 櫛歯状電極を構成しており、

前記第 2 半導体層の他方の領域には、当該領域を構成する前記第 2 半導体層と前記第 1 半導体層とを電氣的に接続するために前記層間絶縁層を貫通する第 1 ビアと、前記第 2 半導体層の前記他方の領域上にあつて前記第 1 ビアに接続される第 1 の端子部と、が備えられ、

前記第 1 の端子部は、前記第 1 ビアを介して前記第 2 アクチュエータの前記第 2 櫛歯状電極を構成する第 1 半導体層に電氣的に接続される、[6]に記載のミラーデバイス。

[12] 前記環状の第 2 可動部には、その内側に、前記第 1 アクチュエータを構成する前記第 2 櫛歯状電極が設けられるとともに、その外側に、前記第 2 アクチュエータを構成する前記第 1 櫛歯状電極が設けられており、

前記第 2 可動部の前記第 1 半導体層には、内側の前記第 1 アクチュエータの前記第 2 櫛歯状電極と、外側の前記第 2 アクチュエータの前記第 1 櫛歯状電極とを絶縁分離する埋め込み絶縁層が備えられ、

更に、前記第 2 可動部には、前記第 2 半導体層と、内側の前記第 1 アクチュエータの前記第 2 櫛歯状電極の前記第 1 半導体層とを電氣的に接続するために前記層間絶縁層を貫通する第 2 ビアが備えられている、[11]に記載のミラーデバイス。

[13] 前記第 2 ねじり梁部の前記第 2 半導体層は、前記配線部に設けら

れた第2の端子部に電氣的に接続されており、

前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層は、前記配線部に設けられた第3の端子部に接続されており、

前記第2の端子部は、前記第2ねじり梁部を構成する前記第2半導体層と前記第2可動部の前記第2ビアとを介して、前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層と前記第2半導体層とに電氣的に接続されており、

前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層を介して、前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されており、

更に前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部、前記第2可動部および前記第1ねじり梁部のそれぞれの前記第1半導体層を介して、前記第1アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されている、[12]に記載のミラーデバイス。

[14] 支持基材上に、複数のミラーデバイスが備えられており、

前記ミラーデバイスが、[1]乃至[5]または[7]乃至[13]の何れか一項に記載のミラーデバイスである、ミラーアレイ。

[15] 支持基材上に、複数のミラーデバイスが備えられており、

前記ミラーデバイスが、[6]に記載のミラーデバイスである、ミラーアレイ。

[16] 前記ミラーデバイスは、前記端子部に形成されたバンプを介して支持基材に接合されている、[14]に記載のミラーアレイ。

[17] 前記ミラーデバイスは、前記端子部に形成されたバンプを介して支持基材に接合されている、[15]に記載のミラーアレイ。

[18] 前記ミラーデバイス同士の間隔が0.5mm以下である、[14]に記載のミラーアレイ。

[19] 前記ミラーデバイス同士の間隔が0.5mm以下である、[15]に記載のミラーアレイ。

[20] ミラーアレイが備えられた光ファイバー用のMEMS型光スイッチ装置であって、前記ミラーアレイは、支持基材上に、複数のミラーデバイスが備えられており、前記ミラーデバイスが、[1]乃至[5]または[7]乃至[13]の何れか一項に記載のミラーデバイスである、光ファイバー用のMEMS型光スイッチ装置。

[21] ミラーアレイが備えられた光ファイバー用のMEMS型光スイッチ装置であって、前記ミラーアレイは、支持基材上に、複数のミラーデバイスが備えられており、前記ミラーデバイスが、[6]に記載のミラーデバイスである、光ファイバー用のMEMS型光スイッチ装置。

発明の効果

[0009] 上記[1]に記載のミラーデバイスによれば、筐体の一面側にミラーが配置され、筐体の他面側に第1アクチュエータおよび前記第2アクチュエータを含む機能層が配置されるので、アクチュエータの設置面積にミラーのサイズが制約されず、大面積のミラーを備えることができる。

また、端子部が、機能層の筐体とは反対側の面に配置されているので、例えばミラーアレイを構成する場合に、支持基材側の配線をミラーデバイスの直下に配置させることができ、これにより、複数のミラーデバイスを支持基材等に配設する際にミラーデバイス間の支持基材上に配線スペースを設ける必要がなく、ミラーデバイスを密に配置することができる。

[0010] 上記[2]に記載のミラーデバイスによれば、ミラーを駆動する機能層が、第1半導体層、第2半導体層および層間絶縁層を有するとともに、第1アクチュエータと第2アクチュエータとが備えられ、第1アクチュエータおよび前記第2アクチュエータはそれぞれ、第1櫛歯状電極と第2櫛歯状電極とを有するので、アクチュエータの薄型化が図られるとともに、アクチュエータの構造の簡素化を図ることができる。また、第1アクチュエータおよび第2アクチュエータによって、ミラーの向きを、自在に変更できる。

[0011] 上記[3]に記載のミラーデバイスによれば、機能層が、第1半導体層と、第2半導体層と、層間絶縁層とを有しており、第1アクチュエータおよび

第2アクチュエータの第1櫛歯状電極および第2櫛歯状電極が、これらの層で構成されるので、アクチュエータの薄型化が図られるとともに、アクチュエータの構造の簡素化を図ることができる。

[0012] 上記[4]および[5]に記載のミラーデバイスによれば、第1可動部が第1ねじり梁部を介して第2可動部に取り付けられ、第2可動部が第2ねじり梁部を介して配線部に取り付けられているので、第1可動部を、第1の回転方向および第2の回転方向に回動させることができ、これにより、操作部を介して第1可動部に接続されるミラーの向きを、自在に変更できる。

[0013] 上記[6]に記載のミラーデバイスによれば、第1アクチュエータが、第1可動部に設けられた第1櫛歯状電極と、第2可動部に設けられた第2櫛歯状電極とにより構成されるので、第2可動部に対して第1可動部を第1の回転方向に回動させることができ、また、第2アクチュエータは、第2可動部に設けられた第1櫛歯状電極と、固定部に設けられた第2櫛歯状電極とにより構成されるので、固定部および配線部に対して第2可動部を第2の回転方向に回動させることができる。これにより、第1可動部を、筐体に対して、第1の回転方向および第2の回転方向に回動させることができ、しかも、第1アクチュエータおよび第2アクチュエータによって第1の回転方向および第2の回転方向の回動量をそれぞれ個別に変更できるので、第1可動部に接続されるミラーの向きを、自在に変更することができる。

[0014] 上記[7]に記載のミラーデバイスによれば、固定部が複数の分割領域に分割され、各分割領域に、第2アクチュエータの第2櫛歯状電極が設けられ、更に各分割領域には、第2アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層と第2半導体層とを電氣的に接続する第1ビアと、第1の端子部とが備えられ、第1の端子部は、第2アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層および第2半導体層に電氣的に接続されるので、機能層の上面側に配置された第1の端子部から、第2アクチュエータを動作させるための電圧を印加することができる。

[0015] 上記[8]に記載のミラーデバイスによれば、第2可動部の第1半導体層

に、第1アクチュエータの第2櫛歯状電極と、第2アクチュエータの第1櫛歯状電極とを絶縁分離する埋め込み絶縁層が備えられるとともに、第2半導体層と、第1アクチュエータの第2櫛歯状電極の第1半導体層とを接続する第2ビアが備えられているので、第1アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層と、第2アクチュエータの第1櫛歯状電極を構成する第1半導体層とを電氣的に分離することができ、第1アクチュエータと第2アクチュエータを個別に制御することができる。

[0016] 上記[9]に記載のミラーデバイスによれば、配線部に備えられた第2の端子部が、第1アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層と第2半導体層とに電氣的に接続され、また、配線部に備えられた第3の端子部が、第2アクチュエータの第1櫛歯状電極を構成する第1半導体層に電氣的に接続され、更に第3の端子部が、第1アクチュエータの第1櫛歯状電極を構成する第1半導体層に電氣的に接続されているので、機能層の上面側に配置された第2の端子部および第3の端子部から、第1アクチュエータおよび第2アクチュエータを動作させるための電圧を印加することができる。

[0017] 上記[10]に記載のミラーデバイスによれば、配線部に備えられた第2の端子部が、第1アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する第2半導体層に電氣的に接続され、また、配線部に備えられた第3の端子部が、第2アクチュエータの第1櫛歯状電極を構成する第1半導体層と、第1アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層とに電氣的に接続され、更に第3の端子部が、第1アクチュエータの第1櫛歯状電極を構成する第1半導体層に電氣的に接続されているので、機能層の上面側に配置された第2の端子部および第3の端子部から、第1アクチュエータおよび第2アクチュエータを動作させるための電圧を印加することができる。

[0018] 上記[11]に記載のミラーデバイスによれば、固定部が複数の分割領域に分割され、各分割領域に、第2アクチュエータの第2櫛歯状電極が設けられ、それぞれの分割領域では、第2半導体層が2つの領域に分割されており、この分割された第2半導体層の一方の領域は、第1半導体層とともに、第

2 アクチュエータの第2 櫛歯状電極を構成しており、第2 半導体層の他方の領域には、当該分割領域を構成する第2 半導体層と第1 半導体層とを電氣的に接続する第1 ピアと、第1 の端子部とが備えられ、第1 の端子部は、第2 アクチュエータの第2 櫛歯状電極を構成する第1 半導体層に電氣的に接続されるので、機能層の上面側に配置された第1 の端子部から、第2 アクチュエータを動作させるための電圧を印加することができる。

[0019] 上記 [12] に記載のミラーデバイスによれば、第2 可動部の第1 半導体層に、第1 アクチュエータの第2 櫛歯状電極と、第2 アクチュエータの第1 櫛歯状電極とを絶縁分離する埋め込み絶縁層が備えられるとともに、第2 可動部の第2 半導体層と、第1 アクチュエータの第2 櫛歯状電極の第1 半導体層とを電氣的に接続する第2 ピアが備えられているので、第2 可動部にそれぞれ形成された、第1 アクチュエータの第2 櫛歯状電極を構成する第1 半導体層と、第2 アクチュエータの第1 櫛歯状電極を構成する第1 半導体層とを電氣的に分離することができ、第1 アクチュエータと第2 アクチュエータを個別に制御することができる。

[0020] 上記 [13] に記載のミラーデバイスによれば、配線部に備えられた第2 の端子部が、第1 アクチュエータの第2 櫛歯状電極を構成する第2 半導体層および第1 半導体層とに電氣的に接続され、また、配線部に備えられた第3 の端子部が、第2 アクチュエータの第1 櫛歯状電極を構成する第1 半導体層に電氣的に接続され、更に第3 の端子部が、第1 アクチュエータの第1 櫛歯状電極を構成する第1 半導体層に電氣的に接続されているので、機能層の上面側に配置された第2 の端子部および第3 の端子部から、第1 アクチュエータおよび第2 アクチュエータを動作させるための電圧を印加することができる。

[0021] 上記 [14] または [15] に記載のミラーアレイによれば、複数のミラーを、密に配設することが出来る。

上記 [16] または [17] に記載のミラーアレイによれば、端子部に形成されたバンプを介して支持基材に接合されているので、支持基材における

配線スペースを縮小することができる。

上記 [18] または [19] に記載のミラーアレイによれば、ミラーデバイス同士の間隔が0.5mm以下であるので、ミラー同士の隙間を小さくすることができる。

上記 [20] または [21] に記載のMEMS型光スイッチ装置によれば、複数のミラーを密に配設することが可能なミラーアレイを備えるので、光ファイバー切替スイッチの高密度化と大規模化を実現できる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1A]図1Aは、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの平面模式図。

[図1B]図1Bは、ミラーデバイスを構成する第2半導体層を示す平面模式図。

[図1C]図1Cは、ミラーデバイスを構成する第1半導体層を示す平面模式図。

[図2]図2は、図1AのA-A線に対応する断面模式図。

[図3]図3は、図1AのB-B線に対応する断面模式図。

[図4]図4は、図1AのC-C線に対応する断面模式図。

[図5]図5は、図3に示される埋め込み絶縁層の拡大断面図。

[図6]図6は、図4に示される埋め込み絶縁層の拡大断面図。

[図7]図7は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの平面模式図。

[図8]図8は、図7のD-D線に対応する断面模式図。

[図9]図9は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの動作を説明する図であって、図1AのC-C線に対応する断面模式図。

[図10-1]図10-1は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの製造方法を説明する平面模式図。

[図10-2]図10-2は、図10-1のA-A線に対応する断面模式図。

[図10-3]図10-3は、図10-1のB-B線に対応する断面模式図。

[図10-4]図10-4は、図10-1のC-C線に対応する断面模式図。

[図11-1]図11-1は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの製造方法を説明する平面模式図。

[図11-2]図11-2は、図11-1のA-A線に対応する断面模式図。

[図11-3]図11-3は、図11-1のB-B線に対応する断面模式図。

[図11-4]図11-4は、図11-1のC-C線に対応する断面模式図。

[図12-1]図12-1は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの製造方法を説明する平面模式図。

[図12-2]図12-2は、図12-1のA-A線に対応する断面模式図。

[図12-3]図12-3は、図12-1のB-B線に対応する断面模式図。

[図12-4]図12-4は、図12-1のC-C線に対応する断面模式図。

[図13-1]図13-1は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの製造方法を説明する平面模式図。

[図13-2]図13-2は、図13-1のA-A線に対応する断面模式図。

[図13-3]図13-3は、図13-1のB-B線に対応する断面模式図。

[図13-4]図13-4は、図13-1のC-C線に対応する断面模式図。

[図14-1]図14-1は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの製造方法を説明する平面模式図。

[図14-2]図14-2は、図14-1のA-A線に対応する断面模式図。

[図14-3]図14-3は、図14-1のB-B線に対応する断面模式図。

[図14-4]図14-4は、図14-1のC-C線に対応する断面模式図。

[図15-1]図15-1は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの製造方法を説明する平面模式図。

[図15-2]図15-2は、図15-1のA-A線に対応する断面模式図。

[図15-3]図15-3は、図15-1のB-B線に対応する断面模式図。

[図15-4]図15-4は、図15-1のC-C線に対応する断面模式図。

[図16-1]図16-1は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの製造方法を説明する平面模式図。

[図16-2]図16-2は、図16-1のA-A線に対応する断面模式図。

[図16-3]図16-3は、図16-1のB-B線に対応する断面模式図。

[図16-4]図16-4は、図16-1のC-C線に対応する断面模式図。

[図17-1]図17-1は、本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスの製造方法を説明する平面模式図。

[図17-2]図17-2は、図17-1のA-A線に対応する断面模式図。

[図17-3]図17-3は、図17-1のB-B線に対応する断面模式図。

[図17-4]図17-4は、図17-1のC-C線に対応する断面模式図。

[図18]図18は、本発明の第2の実施形態であるミラーデバイスの平面模式図。

[図19]図19は、本発明の第3の実施形態であるミラーデバイスの平面模式図。

[図20]図20は、本発明の第4の実施形態であるミラーアレイの側面模式図。

[図21]図21は、本発明の第4の実施形態であるミラーアレイの平面模式図。

発明を実施するための形態

[0023] (第1の実施形態)

本発明の第1の実施形態であるミラーデバイスについて説明する。

図1Aおよび図2～図8に示すように、本実施形態のミラーデバイス100は、筐体Kと、ミラーMと、筐体Kの上に配置されてミラーMを駆動する機能層1とが少なくとも備えられている。より具体的には、本実施形態のミラーデバイス100は、空洞部K1を有する筐体Kと、筐体Kの一面K2側に配置されたミラーMと、筐体Kの他面K3側に配置された機能層1と、筐体Kの空洞部K1内に配置されて、機能層1とミラーMとを連結する操作部K4と、が備えられている。筐体Kおよび操作部K4は、単結晶シリコンよりなり、例えば、単結晶シリコン基板から切り出されたものである。

[0024] 筐体Kの一面K2側に配置されたミラーMには、筐体Kが配置された側とは反対側に反射面M1が設けられている。

[0025] 機能層 1 には、ミラー M を第 1 の回転方向 R 1 に回転させる静電駆動式の第 1 アクチュエータ 2 と、第 1 の回転方向 R 1 と交差する第 2 の回転方向 R 2 にミラー M を回転させる静電駆動式の第 2 アクチュエータ 3 と、筐体 K とは反対側の面 1 A に配置された端子部 T 1 ~ T 3 と、が備えられている。

[0026] 本実施形態において、第 1 の回転方向 R 1 とは、図 2 ~ 図 4 に示すように、Y 方向を回転軸とする回転方向であり、また、第 2 の回転方向 R 2 とは、図 8 に示すように、X 方向を回転軸とする回転方向である。なお、X 方向と Y 方向は、同一平面内において互いに直交する関係にある。

[0027] 以下、機能層 1、第 1 アクチュエータ 2 および第 2 アクチュエータ 3 について説明する。

図 2 ~ 図 4 及び図 8 に示すように、機能層 1 は、多層構造体であって、第 1 半導体層 2 1 と、第 2 半導体層 2 2 と、第 1 半導体層 2 1 と第 2 半導体層 2 2 との間に配置された層間絶縁層 2 3 とが備えられている。第 1 半導体層 2 1 および第 2 半導体層 2 2 は例えばシリコン層からなり、層間絶縁層 2 3 は例えば酸化シリコン層からなる。また、機能層 1 には、第 1 可動部 1 1 と、第 2 可動部 1 2 と、固定部 1 3 K と、配線部 1 3 H と、複数の端子部 T 1、T 2、T 3 と、第 1 ねじり梁部 1 4 と、第 2 ねじり梁部 1 5 と、が形成されている。図 1 B、図 1 C には、第 2 半導体層 2 2 および第 1 半導体層 2 1 の平面模式図を示す。

[0028] 第 1 可動部 1 1、第 2 可動部 1 2、固定部 1 3 K、配線部 1 3 H、複数の端子部 T 1、T 2、T 3、第 1 ねじり梁部 1 4 および第 2 ねじり梁部 1 5 は、フォトリソグラフィ技術を含む微細加工技術によって、第 1 半導体層 2 1、第 2 半導体層 2 2 および層間絶縁層 2 3 を所望の形状に加工することにより、機能層 1 に形成されたものである。すなわち、第 1 可動部 1 1、第 2 可動部 1 2、固定部 1 3 K、配線部 1 3 H および第 2 ねじり梁部 1 5 は、第 1 半導体層 2 1 と、第 1 半導体層 2 1 の少なくとも一部または全部を覆う層間絶縁層 2 3 および第 2 半導体層 2 2 と、から構成される。また、第 1 ねじり梁部 1 4 は、第 1 半導体層 2 1 から構成される。

[0029] また、図1Aに示すように、機能層1には、2つの第1アクチュエータ2（2A、2B）と、4つの第2アクチュエータ3（3A～3D）とが内蔵されている。第1アクチュエータ2A、2Bおよび第2アクチュエータ3A～3Dはそれぞれ、第1半導体層21よりなる第1櫛歯状電極D1と、第1半導体層21、層間絶縁層23および第2半導体層22よりなる第2櫛歯状電極D2とを有する。これら、第1アクチュエータ2A、2Bおよび第2アクチュエータ3A～3Dは、フォトリソグラフィ技術を含む微細加工技術によって、第1可動部11、第2可動部12、固定部13Kおよび配線部13Hとともに形成されたものである。また、第1アクチュエータ2A、2Bは、相互に、第1ねじり梁部14を挟む対称の位置にあり、第2アクチュエータ3A、3Bと、3C、3Dとは、第2ねじり梁部15を挟む対称の位置にある。

[0030] 以下、機能層1について、特に、第1可動部11、第2可動部12および固定部13Kと、第1アクチュエータ2A、2Bおよび第2アクチュエータ3A～3Dとの関係、および、各アクチュエータ2A、2B、3A～3Dを構成する第1櫛歯状電極D1および第2櫛歯状電極D2と、第1半導体層21、層間絶縁層23および第2半導体層22との関係について、説明する。

[0031] 第1可動部11は、機能層1のほぼ中央に位置しており、この第1可動部11には、操作部K4が接合される。操作部K4にはミラーMが接合される。第1可動部11は、第1半導体層21、層間絶縁層23および第2半導体層22の積層体であるが、第1可動部11の一部の領域は、層間絶縁層23および第2半導体層22が積層されず、第1半導体層21のみから構成されている。この第1半導体層21のみから構成される領域に、第1アクチュエータ2を構成する第1櫛歯状電極D1（D11）が設けられている。第1可動部11における第1櫛歯状電極D11は、第1可動部11を平面視した場合に、第1可動部11のX方向の両側に配置されている。また、第1櫛歯状電極D11は、X方向に向けて突出している。

[0032] 第2可動部12は、第1可動部11を囲むように配置された環状の部材で

ある。第2可動部12は、環状部12Aと、環状部12Aの外側に突出する4つの電極部12Bとを有する。環状部12Aは、第1半導体層21、層間絶縁層23および第2半導体層22の積層体よりなり、第2ねじり梁部15と接合されている。電極部12Bは、第1半導体層21のみからなり、環状部12Aから突出されている。環状部12Aの第1半導体層21と電極部12Bの第1半導体層21は連続した層である。

[0033] 環状部12Aの内側には、2組の第1アクチュエータ2A、2Bを構成する第2櫛歯状電極D2（D21）が設けられている。この第2櫛歯状電極D21は、第1可動部11に設けられた2つの第1櫛歯状電極D11にそれぞれ対向するように配置されている。第2櫛歯状電極D21は、第1半導体層21、層間絶縁層23および第2半導体層22の積層体で構成されている。

[0034] 一方、第2可動部12の4つの電極部12Bには、それぞれ、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D1（D31）が設けられている。この第1櫛歯状電極D31は、第1半導体層21のみからなる。第2可動部12における第1櫛歯状電極D31は、電極部12BからY方向に向けて突出するように設けられている。

[0035] また、環状部12Aの第1半導体層21には、図1A、図1C、図3、図7に示すように、埋め込み絶縁層31が設けられている。埋め込み絶縁層31は、第1半導体層21を2つの領域に分割するために設けられる。すなわち、埋め込み絶縁層31は、環状部12Aの内側にある第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D21を構成する第1半導体層21と、環状部12Aの外側の電極部12Bにある第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D31を構成する第1半導体層21とを、電氣的に絶縁分離するための絶縁層である。

[0036] 図5、図6には、埋め込み絶縁層31の拡大断面図を示す。図5は、図3における埋め込み絶縁層31の拡大断面図である。図6は、図4における埋め込み絶縁層31の拡大断面図である。埋め込み絶縁層31は、第1半導体層21に設けられたトレンチ溝31aの内部に、壁面絶縁層32bおよび充

填層 3 1 c が形成されてなるものである。壁面絶縁層 3 2 b は例えば窒化シリコンからなり、充填層 3 1 c は例えばポリシリコンからなる。このようにして形成された埋め込み絶縁層 3 1 は、図 1 A に示すように、環状部 1 2 A の内周部分の一部を取り囲んでいる。埋め込み絶縁層 3 1 によって取り囲まれた領域に、第 1 アクチュエータ 2 A、2 B の第 2 櫛歯状電極 D 2 1 と、第 2 ビア 4 2 とが配置されている。

[0037] 図 1 A～図 1 C および図 3 に示すように、第 2 可動部 1 2 には、第 2 半導体層 2 2 および層間絶縁層 2 3 を貫通する第 2 ビア 4 2 が設けられている。第 2 ビア 4 2 は、第 2 可動部 1 2 の第 2 半導体層 2 2 と第 1 半導体層 2 1 とを電氣的に接続するために設けられる。より詳細には、第 2 ビア 4 2 は、埋め込み絶縁層 3 1 によって領域分割されたうちの、第 1 アクチュエータ 2 A、2 B の第 2 櫛歯状電極 D 2 1 を構成する第 1 半導体層 2 1 と、第 2 半導体層 2 2 とを電氣的に接続することが可能な位置に設けられている。第 2 ビア 4 2 は、例えば多結晶シリコンまたは金属からなる。

[0038] 図 1 A に示すように、固定部 1 3 K は、第 2 可動部 1 2 を囲むように配置されており、筐体 K の他面 K 3 側に接合される。固定部 1 3 K が筐体 K の他面 K 3 側に接合されることで、機能層 1 全体が筐体 K の他面 K 3 側に配置されるようになる。固定部 1 3 K は、第 1 半導体層 2 1、第 2 半導体層 2 2 および層間絶縁層 2 3 が積層された積層体で構成される。図 1 A n i 示すように、固定部 1 3 K は、4 つの分割領域 1 3 A～1 3 D に分割されている。すなわち、分割領域 1 3 A～1 3 D は、図 1 A および図 2 に示すように、隣接する他の分割領域との間で、第 1 半導体層 2 1、第 2 半導体層 2 2 および層間絶縁層 2 3 が連続されておらず、また、筐体 K と第 1 半導体層 2 1 との間には下部絶縁層 5 1 が配置されているため、互いに絶縁分離されている。また、固定部 1 3 K の各分割領域 1 3 A～1 3 D は、配線部 1 3 H とともに絶縁分離されている。

[0039] 図 1 A および図 3 に示すように、固定部 1 3 K の各分割領域 1 3 A～1 3 D には、それぞれ、第 2 アクチュエータ 3 A～3 D の第 2 櫛歯状電極 D 2 (

D 4 1) が設けられている。この第 2 櫛歯状電極 D 4 1 は、第 1 半導体層 2 1、層間絶縁層 2 3 および第 2 半導体層 2 2 の積層体で構成されている。固定部 1 3 K における第 2 櫛歯状電極 D 4 1 は、Y 方向に向けて突出されており、これにより、第 2 可動部 1 2 の電極部 1 2 B に設けられた第 1 櫛歯状電極 D 3 1 と対向している。

[0040] 図 1 A、図 1 B および図 2 に示すように、更に固定部 1 3 K の分割領域 1 3 A ~ 1 3 D には、それぞれ、第 2 半導体層 2 2 および層間絶縁層 2 3 を貫通する第 1 ビア 4 1 が設けられている。第 1 ビア 4 1 は、第 2 アクチュエータ 3 A ~ 3 D の第 2 櫛歯状電極 D 4 1 を構成する第 1 半導体層 2 1 と、各分割領域 1 3 A ~ 1 3 D を構成する第 2 半導体層 2 2 とを電氣的に接続する。また、固定部 1 3 K の各分割領域 1 3 A ~ 1 3 D においては、第 2 半導体層 2 2 の表面に第 1 ビア 4 1 が露出しており、この第 1 ビア 4 1 の表面が第 1 の端子部 T 1 とされている。すなわち、第 1 の端子部 T 1 は、第 1 ビア 4 1 上にあり、第 2 半導体層 2 2 の表面と同一面上にある。第 1 ビア 4 1 は、例えば多結晶シリコンまたは金属からなる。

[0041] 以上の構造の特徴によって、次のような電氣的な接続構造が実現される。すなわち、第 1 の端子部 T 1 は、第 2 アクチュエータ 3 A ~ 3 D の第 2 櫛歯状電極 D 2 (D 4 1) を構成する第 2 半導体層 2 2 に電氣的に接続されるとともに、第 1 ビア 4 1 を介して第 2 アクチュエータ 3 A ~ 3 D の第 2 櫛歯状電極を D 2 (D 4 1) 構成する第 1 半導体層 2 1 に電氣的に接続される。

[0042] 次に、配線部 1 3 H、第 1 ねじり梁部 1 4 および第 2 ねじり梁部 1 5 について説明する。

[0043] 図 1 A に示すように、配線部 1 3 H は、固定部 1 3 K と同様に第 2 可動部 1 2 を囲む位置に配置されており、特に第 2 可動部 1 2 と隣接している。配線部 1 3 H が筐体 K の他面 K 3 側に接合されることで、機能層 1 が筐体 K の他面 K 3 側に配置されるようになる。配線部 1 3 H は、第 1 半導体層 2 1 と、第 1 半導体層 2 1 の一部の上に積層された層間絶縁層 2 3 および第 2 半導体層 2 2 よりなる積層体で構成されている。

- [0044] 図1Bに示すように、配線部13Hを構成する第2半導体層22は、2つの領域に分割されており、一方の領域には第2の端子部T2が設けられている。第2の端子部T2は、層間絶縁層23によって、配線部13Hの第1半導体層21とは電氣的に絶縁されている。
- [0045] また、分割された第2半導体層の他方の領域には、第3ビア43が形成されるとともに、第3ビア43および第2半導体層22上に第3の端子部T3が設けられている。第3ビア43は層間絶縁層23を貫通して第1半導体層21と第2半導体層22を電氣的に接続している。これにより、第3の端子部T3は、配線部13Hの第1半導体層21と電氣的に接続される一方、第2の端子部T2とは電氣的に分離されている。
- [0046] 図1Aに示すように、第2ねじり梁部15は、第2可動部12と配線部13Hとを接続する部材であって、第2の回転方向R2の回転軸方向（x方向）に延在している。図4に示すように、第2ねじり梁部15は、第1半導体層21、第2半導体層22および層間絶縁層23の積層体で構成されている。第2ねじり梁部15の一端は、配線部13Hに接続されている。これにより、第2の端子部T2は、第2ねじり梁部15の第2半導体層22と電氣的に接続され、また、第3の端子部T3は、第2ねじり梁部15の第1半導体層21と電氣的に接続される。また、第2ねじり梁部15の他端は、上述したように第2可動部12に接続される。
- [0047] 図1Aおよび図1Cに示すように、第1ねじり梁部14は、第1可動部11と第2可動部12とを接続する部材であって、第1の回転方向R1の回転軸方向（Y方向）に延在している。第1ねじり梁部14は、第1半導体層21のみから構成される。
- [0048] 以上の構造の特徴によって、次のような電氣的な接続構造が実現される。すなわち、第2の端子部T2は、第2ねじり梁部15を構成する第2半導体層22と第2可動部の第2半導体層22と第2ビア42とを介して、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D2（D21）を構成する第1半導体層21と第2半導体層22とに電氣的に接続される。

[0049] また、第3の端子部T3は、第2ねじり梁部15の第1半導体層21を介して、第2アクチュエータの第1櫛歯状電極D1（D31）を構成する第1半導体層21に電氣的に接続される。

更に第3の端子部T3は、第2ねじり梁部15、第2可動部12および第1ねじり梁部14のそれぞれの第1半導体層21を介して、第1アクチュエータ2A、2Bの第1櫛歯状電極D1（D11）を構成する第1半導体層21に電氣的に接続される。

[0050] 次に、本実施形態のミラーデバイス100の動作を説明する。

第1アクチュエータ2A～2Bは、第1可動部11に設けられた第1櫛歯状電極D11と、第2可動部12に設けられた第2櫛歯状電極D21とが、相互に対向するように配置されることによって構成される。また、第2アクチュエータ3A～3Dは、第2可動部12に設けられた第1櫛歯状電極D31と、固定部13Kに設けられた第2櫛歯状電極D41とが、相互に対向するように配置されることによって構成される。各アクチュエータ2A、2B、3A～3Dの第1櫛歯状電極D11、D31は、第1半導体層21のみからなり、各アクチュエータ2A、2B、3A～3Dの第2櫛歯状電極D21、D41は、第1半導体層21、第2半導体層22および層間絶縁層23からなる。第1櫛歯状電極D11、D31および第2櫛歯状電極D21、D41は、互いに、機能層1の厚み方向においてほぼ同じ高さに位置している。しかし、第2櫛歯状電極D21、D41の厚みは、第1櫛歯状電極D11、D31に比べて大きい。このため、第1の端子部T1、第2の端子部T2および第3の端子部T3から、第1櫛歯状電極D11、D31および第2櫛歯状電極D21、D41にそれぞれ適当な電圧を印加した場合には、各櫛歯状電極の電氣的なバランスが崩れて、第1櫛歯状電極D11、D31および第2櫛歯状電極D21、D41のそれぞれが、相互に異なる高さに変位するようになる。

[0051] そして、第1アクチュエータ2A、2Bによって第1可動部11を第1の回転方向R1に回転させる場合は、第1アクチュエータ2A、2Bのいずれ

か一方において、第1可動部11と第2可動部12との間で高さの変位を生じさせる。例えば、図2の右側の第1アクチュエータ2Aの第1櫛歯状電極D11を、図2において上方向に変位させるようにする。これにより、第1可動部11の全体が傾けられ、しかも、第1アクチュエータ2A、2Bが第1ねじり梁部14を挟んで対称の位置にあるために、第1可動部11および第2可動部12を接続する第1ねじり梁部14にねじれが生じる。このように第1アクチュエータ2Aによって、第2可動部12に対して第1可動部11を第1の回転方向R1に回転させることが可能になる。図9は、第1アクチュエータ2A（右側）によって、第2可動部12に対して第1可動部11が第1の回転方向R1に回転させられた状態を示している。反対方向の回転を得るには、第1アクチュエータ2B（左側）を駆動させればよい。

[0052] 同様に、第2アクチュエータ3A～3Dによって第2可動部12を第2の回転方向R2に回転させる場合は、第2アクチュエータ3A～3Dのうち、第2アクチュエータ3Aおよび3Cか、第2アクチュエータ3Bおよび3Dのいずれかの組において、第2可動部12と固定部13Kとの間で高さの変位を生じさせる。例えば、図1Aの上側の2つの第2アクチュエータ3A、3Cの第1櫛歯状電極D31を、図1Aにおいて紙面の手前方向に変位させるようにする。反対方向の回転を得るには、第2アクチュエータ3B、3Dを用いる。これにより、第2可動部12が傾けられ、しかも、第2アクチュエータ3A～3Dが第2ねじり梁部15を挟んで対称の位置にあるために、第2可動部12および配線部13Hを接続する第2ねじり梁部15にねじれが生じる。このように第2アクチュエータ3A～3Dによって、固定部13Kに対して第2可動部12を第2の回転方向R2に回転させることが可能になる。

[0053] 以上のように、第1アクチュエータ2A、2Bは、第2可動部12に対して第1可動部11を第1の回転方向R1に回転させることができ、また、第2アクチュエータ3A～3Dは、固定部13Kおよび配線部13Hに対して第2可動部12を第2の回転方向R2に回転させることができるので、第1

可動部 11 を、第 1 の回転方向 R1 および第 2 の回転方向 R2 に回転させることができ、しかも、第 1 アクチュエータ 2A、2B および第 2 アクチュエータ 3A～3D によって第 1 の回転方向 R1 および第 2 の回転方向 R2 の回転量をそれぞれ個別に変更できるので、第 1 可動部 11 に接続されるミラー M の反射面 M1 向きを、筐体 K に対して、自在に変更することが可能になる。

[0054] 次に、各アクチュエータ 2A、2B、3A～3D を作動させるための電圧の印加方法をより具体的に説明する。

第 1 アクチュエータ 2A、2B を作動させるためには、第 2 の端子部 T2 から第 1 駆動電圧を第 2 半導体層 22 に印加する。第 2 の端子部 T2 から第 2 半導体層 22 に印加された第 1 駆動電圧は、第 2 ねじり梁部 15 を経由して第 2 可動部 12 の第 2 半導体層 22 に達し、そのまま、第 2 可動部 12 に設けられた第 1 アクチュエータ 2A、2B の第 2 櫛歯状電極 D21 を構成する第 2 半導体層 22 に印加される。また、第 2 可動部 12 の第 2 半導体層 22 に達した第 1 駆動電圧は、第 2 ピア 42 を経由して、第 1 アクチュエータ 2A、2B の第 2 櫛歯状電極 D21 を構成する第 1 半導体層 21 にも印加される。この際、第 2 可動部 12 の第 1 半導体層 21 には埋め込み絶縁層 31 が設けられているため、第 1 駆動電圧は、第 2 アクチュエータ 3A～3D の第 1 櫛歯状電極 D31 には印加されない。

[0055] また、第 1 アクチュエータ 2A、2B を作動させるために、第 3 駆動電圧を、第 3 の端子部 T3 に印加する。第 3 駆動電圧は、第 1 駆動電圧と異なる電圧値を持つ電圧であり、接地電圧でもよい。第 3 の端子部 T3 から印加された第 3 駆動電圧は、第 2 ねじり梁部 15 の第 1 半導体層 21 を経由して第 2 可動部 12 の第 1 半導体層 21 に達し、更に第 1 ねじり梁部 14 を経由して、第 1 可動部 11 の第 1 半導体層 21、すなわち、第 1 アクチュエータ 2A、2B の第 1 櫛歯状電極 D1 (D11) に印加される。これにより、第 1 アクチュエータ 2A または 2B の第 1 櫛歯状電極 D1 (D11) が変位される。なお、第 3 駆動電圧は、第 2 アクチュエータ 3A～3D の第 2 櫛歯状電

極D 4 1を構成する第1半導体層2 1にも印加される。

[0056] このようにして、第1アクチュエータ2 A、2 Bの第2櫛歯状電極D 2 1に第1駆動電圧が印加され、第1櫛歯状電極D 1 1に第3駆動電圧（例えば接地電圧）が印加されることで、第1アクチュエータ2 A、2 Bを作動させることができる。なお、ミラーMを駆動させる場合、第1アクチュエータ2 A、2 Bの両方ではなく、いずれか一方を作動させればよい。

[0057] 次に、第2アクチュエータ3 A～3 Dを作動させるためには、第1の端子部T 1から第2駆動電圧を固定部1 3 Kの第2半導体層2 2に印加する。第2駆動電圧は、第1駆動電圧と同じ電圧値を持つ電圧でもよく、異なる電圧値を持つ電圧でもよい。また、第2駆動電圧は、第3駆動電圧と異なる電圧値を持つ電圧とする。第1の端子部T 1から第2半導体層2 2に印加された第2駆動電圧は、そのまま、分割領域1 3 A～1 3 Dに設けられた第2アクチュエータ3 A～3 Dの第2櫛歯状電極D 4 1を構成する第2半導体層2 2に印加される。また、第2半導体層2 2に印加された第2駆動電圧は、第1ビア4 1を経由して、第2アクチュエータ3 A～3 Dの第2櫛歯状電極D 4 1を構成する第1半導体層2 1にも印加される。

[0058] また、上述したように、第3の端子部T 3に印加された第3駆動電圧（例えば接地電圧）は、第2アクチュエータ3 A～3 Dの第1櫛歯状電極D 3 1を構成する第1半導体層2 1にも印加される。これにより、第2アクチュエータ3 A～3 Dの第1櫛歯状電極D 3 1が変位される。

[0059] このようにして、第2アクチュエータ3 A～3 Dの第2櫛歯状電極D 4 1に第2駆動電圧が印加され、第1櫛歯状電極D 3 1に第3駆動電圧（例えば接地電圧）が印加されることで、第2アクチュエータ3 A～3 Dを作動させることができる。なお、ミラーMを駆動させる場合、第2アクチュエータ3 A～3 Dの全部ではなく、第2アクチュエータ3 Aおよび3 Cを作動させるか、第2アクチュエータ3 Bおよび3 Dを作動させればよい。

[0060] 次に、図10-1～図17-4を参照して、本実施形態のミラーデバイス100の製造方法を説明する。なお、図10-1、図11-1、図12-1

、図13-1、図14-1、図15-1、図16-1および図17-1においては、以下に説明するハードマスク層HMの表記を省略する。

[0061] まず、図10-1～図10-4に示すように、基板として支持基板50と、下部絶縁層51と、第1半導体層21とが積層されたものを用意する。これは成膜によって準備してもよく、SOI基板を用いてもよい。支持基板50は例えばシリコン基板であり、下部絶縁層51は例えば酸化シリコン層であり、第1半導体層21は例えばシリコン層である。

[0062] この第1半導体層21に、埋め込み絶縁層31を形成する。埋め込み絶縁層31は、第1半導体層21にトレンチ溝を設け、次いで、第1半導体層21上およびトレンチ溝内に壁面絶縁層32bとなる絶縁膜を形成し、次いで、第1半導体層21上およびトレンチ溝内に充填層31cとなるポリシリコン層を形成し、第1半導体層21上に積層された絶縁膜およびポリシリコン層を除去することによって、詳細を図5、図6に示すような、埋め込み絶縁層31を形成する。

[0063] 次に、図11-1～図11-4に示すように、第1半導体層21上に、層間絶縁層23および第2半導体層22を形成する。層間絶縁層23は例えば酸化シリコン層であり、第2半導体層は例えばシリコン層である。層間絶縁層23および第2半導体層22は、通常の成膜技術によって形成してもよく、SOI基板を貼り合わせることで形成してもよい。そして、第2半導体層22の所定の位置に、第1ビア41および第2ビア42を形成する。第1ビア41および第2ビア42は、第2半導体層22および層間絶縁層23を貫通する貫通孔を形成し、その貫通孔に例えばポリシリコンや金属を充填することによって形成する。次いで、第2半導体層22上に、上部絶縁層52を形成する。上部絶縁層52は、例えば、酸化シリコン層よりなる。この上部絶縁層52は、機能層1の各部を形成するためのハードマスク層となる。以下、上部絶縁層52をハードマスク層HMと呼ぶ場合がある。

[0064] 次に、図12-1～図12-4に示すように、上部絶縁層52に対して、その膜厚の $1/4 \sim 1/3$ 程度の深さまでのエッチングを、部分的に行うこ

とにより、上部絶縁層52を、図12-2～図12-4に示すような断面形状のハードマスク層HMとする。なお、図12-1では、ハードマスク層HMの記載を省略している。

[0065] 次に、図13-1～図13-4に示すように、ハードマスク層HM（上部絶縁層52）に対して、更に、元の膜厚の $1/4 \sim 1/3$ 程度の深さまでのエッチングを、部分的に行うことにより、上部絶縁層52を、図13-2～図13-4に示すような断面形状のハードマスク層HMとする。図12-1～図12-4および図13-1～図13-4の一連の工程によって、ハードマスク層HMには、膜厚が比較的厚い部分と、膜厚が比較的薄い部分とが形成され、更に、ハードマスク層HMが存在しない部分も形成される。ハードマスク層HMの膜厚が比較的厚い部分は、最終的に、第1半導体層21、第2半導体層22および層間絶縁層23が残存する部分になる。また、ハードマスク層HMの膜厚が比較的薄い部分は、最終的に、第1半導体層21が残存し、第2半導体層22および層間絶縁層23が除かれる部分になる。更に、ハードマスク層HMが存在しない部分は、最終的に、第1半導体層21、第2半導体層22および層間絶縁層23が全て除かれる部分になる。

[0066] 次に、図14-1～図14-4に示すように、ハードマスク層HMをマスクにしてエッチングを行うことにより、第2半導体層22を部分的に除去する。第2半導体層22が除去される部分は、図13-1～図13-4において、ハードマスク層HMが存在しない部分に相当する。

[0067] 次に、図15-1～図15-4に示すように、第2半導体層22が除去されることによって部分的に露出された層間絶縁層23を、エッチングを行うことにより除去する。この際、ハードマスク層HMの一部も除去される。この段階で残存するハードマスク層HMは、図13-1～図13-4において膜厚が比較的厚い部分に対応する。

[0068] 次に、図16-1～図16-4に示すように、残存するハードマスク層HMをマスクにして、第1半導体層21の一部および第2半導体層22の一部をエッチングにより除去する。

[0069] 次に、図17-1～図17-4に示すように、第1半導体層21が除去されることによって部分的に露出された下部絶縁層51を、エッチングを行うことにより除去する。この際、ハードマスク層HMの残存部分が全て除去される。この段階において、機能層1の第1可動部11、第2可動部12、固定部13K、配線部13H、第1ねじり梁部14および第2ねじり梁部15が形成される。

[0070] 図17-1～図17-4より後の工程では、単結晶シリコン基板50の一部を除去することによって、空洞部K1および操作部K4を形成する。そして、単結晶シリコン基板50の一部の除去により露出された下部絶縁層51を除去することで、機能層1が形成される。更に、操作部K4にミラーMを取り付ける。このような工程を経ることで、図1A～図8に示すミラーデバイス100が製造される。

[0071] 以上、ミラーデバイス100の製造方法の一例を説明した。本実施形態のミラーデバイス100は、上記の製造方法によって製造されたものに限定されるものではない。

[0072] 以上説明したように、本実施形態のミラーデバイス100によれば、筐体Kの一面K2側にミラーMが配置され、筐体Kの他面K3側に第1アクチュエータ2A、2Bおよび第2アクチュエータ3A～3Dを含む機能層1が配置されるので、アクチュエータ2A～3Dの設置面積にミラーMのサイズが制約されず、大面積のミラーMを備えることができる。

また、複数の端子部（第1の端子部T1、第2の端子部T2、第3の端子部T3）が、機能層1の筐体Kとは反対側の面に配置されているので、例えばミラーアレイを構成する場合に、支持基材側の配線をミラーデバイス100の直下に配置させることができ、これにより、複数のミラーデバイス100を支持基材等に配設する際にミラーデバイス100の間の支持基材上に配線スペースを設ける必要がなく、ミラーデバイス100を密に配置することができる。

[0073] また、本実施形態のミラーデバイス100によれば、機能層1が、第1半

導体層 2 1 と、第 2 半導体層 2 2 と、層間絶縁層 2 3 とを有しており、第 1 アクチュエータ 2 A、2 B および第 2 アクチュエータ 3 A～3 D の第 1 櫛歯状電極 D 1 および第 2 櫛歯状電極 D 2 が、これらの層 2 1～2 3 で構成されるので、アクチュエータ 2 A～3 D の薄型化が図られるとともに、アクチュエータ 2 A～3 D の構造の簡素化を図ることができる。

[0074] また、本実施形態のミラーデバイス 1 0 0 によれば、ミラー M を駆動する機能層 1 が、第 1 半導体層 2 1、第 2 半導体層 2 2 および層間絶縁層 2 3 を有するとともに、第 1 アクチュエータ 2 A、2 B と第 2 アクチュエータ 3 A～3 D とが備えられ、第 1 アクチュエータ 2 A、2 B および前記第 2 アクチュエータ 3 A～3 D はそれぞれ、第 1 櫛歯状電極 D 1 と第 2 櫛歯状電極 D 2 とを有するので、アクチュエータの薄型化が図られるとともに、アクチュエータ 2 A～3 D の薄型化が図られるとともに、アクチュエータ 2 A～3 D の構造の簡素化を図ることができる。

また、第 1 アクチュエータ 2 A、2 B および第 2 アクチュエータ 3 A～3 D によって、ミラー M 向きを、自在に変更できる。

[0075] また、本実施形態のミラーデバイス 1 0 0 によれば、第 1 可動部 1 1 が第 1 ねじり梁部 1 4 を介して第 2 可動部 1 2 に取り付けられ、第 2 可動部 1 2 が第 2 ねじり梁部 1 5 を介して配線部 1 3 H に取り付けられているので、第 1 可動部 1 1 を、第 1 の回転方向 R 1 および第 2 の回転方向 R 2 に回動させることができ、これにより、操作部 K 4 を介して第 1 可動部 1 1 に接続されるミラー M の向きを、自在に変更できる。

[0076] また、本実施形態のミラーデバイス 1 0 0 によれば、第 1 アクチュエータ 2 A、2 B が、第 1 可動部 1 1 に設けられた第 1 櫛歯状電極 D 1 1 と、第 2 可動部 1 2 に設けられた第 2 櫛歯状電極 D 2 1 とにより構成されるので、第 2 可動部 1 2 に対して第 1 可動部 1 1 を第 1 の回転方向 R 1 に回動させることができる。また、第 2 アクチュエータ 3 A～3 D は、第 2 可動部 1 2 に設けられた第 1 櫛歯状電極 D 3 1 と、固定部 1 3 K に設けられた第 2 櫛歯状電極 D 4 1 とにより構成されるので、固定部 1 3 K および配線部 1 3 H に対し

て第2可動部12を第2の回転方向R2に回転させることができる。これにより、第1可動部11を、筐体Kに対して、第1の回転方向R1および第2の回転方向R2に回転させることができ、しかも、第1アクチュエータ2A、2Bおよび第2アクチュエータ3A～3Dによって第1の回転方向R1および第2の回転方向R2の回転量をそれぞれ個別に変更できるので、第1可動部11に接続されるミラーMの向きを、自在に変更することができる。

[0077] また、本実施形態のミラーデバイス100によれば、固定部13Kが4つの分割領域13A～13Dに分割され、各分割領域13A～13Dに、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D41を構成する第1半導体層21と第2半導体層22とを接続する第1ビア41と、第1の端子部T1とが備えられるので、機能層1の上面側から第2アクチュエータ3A～3Dを動作させるための電圧を印加することができる。

[0078] また、本実施形態のミラーデバイス100によれば、第2可動部12の第1半導体層21に、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D21と、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D31とを絶縁分離する埋め込み絶縁層31が備えられるとともに、第2半導体層22と、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D21の第1半導体層21とを接続する第2ビア42が備えられているので、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D21を構成する第1半導体層21と、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D31を構成する第1半導体層21とを電氣的に分離することができ、第1アクチュエータ2A、2Bと第2アクチュエータ3A～3Dを個別に制御することができる。

[0079] また、本実施形態のミラーデバイス100によれば、配線部13Hに備えられた第2の端子部T2が、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D21を構成する第1半導体層21と第2半導体層22とに電氣的に接続され、また、配線部13Hに備えられた第3の端子部T3が、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D31を構成する第1半導体層21に電氣的に接続され、更に第3の端子部T3が、第1アクチュエータ2A、2B

の第1櫛歯状電極D11を構成する第1半導体層21に電氣的に接続されているので、機能層1の上面側に配置された第2の端子部T2および第3の端子部T3から、第1アクチュエータ2A、2Bおよび第2アクチュエータ3A～3Dを動作させるための電圧を印加することができる。

[0080] (第2の実施形態)

次に、本発明の第2の実施形態であるミラーデバイス200を説明する。図18には、第2の実施形態のミラーデバイス200の平面模式図を示す。本実施形態のミラーデバイス200と、第1の実施形態のミラーデバイス100との相違点は、次の通りである。

[0081] すなわち、図18に示すミラーデバイス200では、その第2可動部12に、ミラーデバイス100の第2ビア42及び埋め込み絶縁層31に相当するものが設けられていない。これ以外の構造は、第1の実施形態のミラーデバイス100と同じである。これにより、第2の端子部T2および第3の端子部T3に電圧を印加した場合の動作が、第1の実施形態とは異なるものとなる。

[0082] すなわち、本実施形態のミラーデバイス200の第2可動部12は、第1可動部11を囲むように配置された環状の部材である。第2可動部12は、環状部12Aと、環状部12Aの外側に突出する4つの電極部12Bとを有する。環状部12Aは、第1半導体層21、層間絶縁層23および第2半導体層22の積層体よりなり、第2ねじり梁部15と接合されている。電極部12Bは、第1半導体層21のみからなる。環状部12Aの第1半導体層21と電極部12Bの第1半導体層21は連続した層である。

[0083] 環状部12Aの内側には、2組の第1アクチュエータ2A、2Bを構成する第2櫛歯状電極D2(D21)が設けられている。この第2櫛歯状電極D21は、第1可動部11に設けられた2つの第1櫛歯状電極D11にそれぞれ対向するように配置されている。第2櫛歯状電極D21は、第1半導体層21、層間絶縁層23および第2半導体層22の積層体で構成されている。

[0084] 一方、第2可動部12の4つの電極部12Bには、それぞれ、第2アクチ

ュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D1（D31）が設けられている。この第1櫛歯状電極D31は、第1半導体層21のみからなる。第2可動部12における第1櫛歯状電極D31は、電極部12BからY方向に向けて突出するように設けられている。

[0085] 第1可動部11および固定部13Kは、第1の実施形態と同様の構成である。このため、第1の端子部T1は、第1の実施形態と同様に、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D2（D41）を構成する第2半導体層22に電氣的に接続されるとともに、第1ビア41を介して第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極をD2（D41）構成する第1半導体層21に電氣的に接続される。

[0086] また、配線部13H、第1ねじり梁部14および第2ねじり梁部15についても、第1の実施形態と同様の構成である。

[0087] 以上の構造の特徴によって、次のような電氣的な接続構造が実現される。すなわち、第2の端子部T2は、第2ねじり梁部15を構成する第2半導体層22と第2可動部の第2半導体層22とを介して、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D2（D21）を構成する第2半導体層22に電氣的に接続される。

[0088] また、第3の端子部T3は、第2ねじり梁部15の第1半導体層21を介して、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D1（D31）を構成する第1半導体層21と、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D2（D21）を構成する第1半導体層21とに、電氣的に接続される。

更に第3の端子部T3は、第2ねじり梁部15、第2可動部12および第1ねじり梁部14のそれぞれの第1半導体層21を介して、第1アクチュエータ2A、2Bの第1櫛歯状電極D1（D11）を構成する第1半導体層21に電氣的に接続される。

[0089] 以下、本実施形態のミラーデバイス200における、各アクチュエータ2A、2B、3A～3Dを作動させるための電圧の印加方法をより具体的に説明する。

第1アクチュエータ2A、2Bを作動させるためには、第2の端子部T2から第1駆動電圧を第2半導体層22に印加する。第2の端子部T2から第2半導体層22に印加された第1駆動電圧は、第2ねじり梁部15を經由して第2可動部12の第2半導体層22に達し、そのまま、第2可動部12に設けられた第1アクチュエータ2A、2Bの第2楕歯状電極D21を構成する第2半導体層22に印加される。

[0090] また、第1アクチュエータ2A、2Bを作動させるために、第3駆動電圧を、第3の端子部T3に印加する。第3駆動電圧は、第1駆動電圧と異なる電圧値を持つ電圧であり、接地電圧でもよい。第3の端子部T3から印加された第3駆動電圧は、第2ねじり梁部15の第1半導体層21を經由して第2可動部12の第1半導体層21に達し、そのまま、第2可動部12に設けられた第1アクチュエータ2A、2Bの第2楕歯状電極D21を構成する第1半導体層21に印加される。更に、この第3駆動電圧は、第1ねじり梁部14を經由して、第1可動部11の第1半導体層21、すなわち、第1アクチュエータ2A、2Bの第1楕歯状電極D1(D11)に印加される。その結果、第1アクチュエータ2Aまたは2Bの第1楕歯状電極D1(D11)が変位される。

[0091] このようにして、第1アクチュエータ2A、2Bの第2楕歯状電極D21の第2半導体層22に第1駆動電圧が印加され、第1楕歯状電極D11に第3駆動電圧(例えば接地電圧)が印加されることで、第1アクチュエータ2A、2Bを作動させることができる。なお、ミラーMを駆動させる場合、第1アクチュエータ2A、2Bの両方ではなく、いずれか一方を作動させればよい。

[0092] 第2アクチュエータ3A~3Dを作動させるためには、第1の端子部T1から第2駆動電圧を第2半導体層22に印加する。第2駆動電圧は、第1駆動電圧と同じ電圧値を持つ電圧でもよく、異なる電圧値を持つ電圧でもよい。また、第2駆動電圧は、第3駆動電圧と異なる電圧値を持つ電圧とする。第1の端子部T1から第2半導体層22に印加された第2駆動電圧は、その

ま、分割領域 13A～13D に設けられた第 2 アクチュエータ 3A～3D の第 2 櫛歯状電極 D41 を構成する第 2 半導体層 22 に印加される。また、第 2 半導体層 22 に印加された第 2 駆動電圧は、第 1 ピア 41 を経由して、第 2 アクチュエータ 3A～3D の第 2 櫛歯状電極 D41 を構成する第 1 半導体層 21 にも印加される。

[0093] また、第 1 アクチュエータ 2A、2B を駆動させるために第 3 の端子 T3 に印加された第 3 駆動電圧（例えば接地電圧）は、第 2 アクチュエータ 3A～3D の第 1 櫛歯状電極 D31 を構成する第 1 半導体層 21 にも印加される。その結果、第 2 アクチュエータ 3A～3D の第 1 櫛歯状電極 D31 が変位される。

[0094] このようにして、第 2 アクチュエータ 3A～3D の第 2 櫛歯状電極 D41 に第 2 駆動電圧が印加され、第 1 櫛歯状電極 D31 に例えば第 3 駆動電圧（例えば接地電圧）が印加されることで、第 2 アクチュエータ 3A～3D を作動させることができる。なお、第 2 アクチュエータ 3A～3D の全部ではなく、第 2 アクチュエータ 3A および 3C を作動させるか、第 2 アクチュエータ 3B および 3D を作動させればよい。

[0095] これにより、本実施形態のミラーデバイス 200 は、第 1 の実施形態の場合と同様に、ミラーを自由に変位させることができる。

[0096] 以上説明したように、本実施形態のミラーデバイス 200 によれば、配線部 13H に備えられた第 2 の端子部 T2 が、第 1 アクチュエータ 2A、2B の第 2 櫛歯状電極 D2（D21）を構成する第 2 半導体層 22 に電氣的に接続され、また、配線部 12H に備えられた第 3 の端子部 T3 が、第 2 アクチュエータ 3A～3D の第 1 櫛歯状電極 D1（D31）を構成する第 1 半導体層 21 と、第 1 アクチュエータ 2A、2B の第 2 櫛歯状電極 D2（D21）を構成する第 1 半導体層 21 とに電氣的に接続され、更に第 3 の端子部 T3 が、第 1 アクチュエータ 2A、2B の第 1 櫛歯状電極 D1（D11）を構成する第 1 半導体層 21 に電氣的に接続されているので、機能層 1 の上面側に配置された第 2 の端子部 T2 および第 3 の端子部 T3 から、第 1 アクチュ

エータ 2 A、2 B および第 2 アクチュエータ 3 A～3 D を動作させるための電圧を印加することができる。

[0097] (第 3 の実施形態)

次に、本発明の第 3 の実施形態であるミラーデバイス 300 を説明する。図 19 には、第 3 の実施形態のミラーデバイス 300 の平面模式図を示す。本実施形態のミラーデバイス 300 と、第 1 の実施形態のミラーデバイス 100 との相違点は、次の通りである。

[0098] すなわち、図 19 に示すミラーデバイス 200 では、固定部 13 K を構成する第 2 半導体層 22 が、2 つの領域に分割されている。これ以外の構造は、第 1 の実施形態のミラーデバイス 100 と同じである。これにより、第 2 の端子部 T2 および第 3 の端子部 T3 に電圧を印加した場合の動作が、第 1 の実施形態と異なるものとなる。

[0099] すなわち、本実施形態のミラーデバイス 200 の固定部 13 K は、第 2 可動部 12 を囲むように配置されており、筐体 K の他面 K3 側に接合される。固定部 13 K が筐体 K の他面 K3 側に接合されることで、機能層 1 全体が筐体 K の他面 K3 側に配置されるようになる。固定部 13 K は、第 1 半導体層 21、第 2 半導体層 22 および層間絶縁層 23 が積層された積層体で構成される。固定部 13 K は、4 つの分割領域 13 A～13 D に分割されている。分割領域 13 A～13 D は、隣接する他の分割領域との間で、第 1 半導体層 21、第 2 半導体層 22 および層間絶縁層 23 が連続されておらず、また、筐体 K と第 1 半導体層 21 との間には下部絶縁層 51 が配置されているため、互いに絶縁分離されている。分割領域 13 A～13 D は、配線部 13 H とも絶縁分離されている。

[0100] 各分割領域 13 A～13 D には、それぞれ、第 2 アクチュエータ 3 A～3 D の第 2 櫛歯状電極 D2 (D41) が設けられている。この第 2 櫛歯状電極 D41 は、第 1 半導体層 21、層間絶縁層 23 および第 2 半導体層 22 の積層体で構成されている。固定部 13 K における第 2 櫛歯状電極 D41 は、Y 方向に向けて突出されており、これにより、第 2 可動部 12 の電極部 12 B

に設けられた第1櫛歯状電極D31と対向している。

[0101] 固定部13Kを構成する第2半導体層22は、2つの領域に分割されている。第2半導体層22の一方の領域は、第1半導体層21とともに、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D2（D41）を構成している。

[0102] また、第2半導体層22の他方の領域には、当該領域を構成する第2半導体層22と第1半導体層21とを電氣的に接続するために層間絶縁層23を貫通する第1ビア41が設けられている。また、固定部13Kの各分割領域13A～13Dには、第1ビア41に接続される第1の端子部T1が備えられている。第1の端子部T1は、第1ビア41と同様に、第2半導体層22の他方方の領域にある。第1ビア41は、各分割領域13A～13Dに備えられる第1の端子部T1と、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D41を構成する第1半導体層21とを電氣的に接続する。第1ビア41は、例えば多結晶シリコンまたは金属からなる。

[0103] 以上の構造の特徴によって、次のような電氣的な接続構造が実現される。すなわち、第1の端子部T1は、第1ビア41を介して、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極をD2（D41）構成する第1半導体層21に電氣的に接続されるが、第2櫛歯状電極をD2（D41）構成する第2半導体層22には電氣的に接続されない。

[0104] 第1可動部11、第2可動部12、固定部13Kおよび配線部13Hは、第1の実施形態と同様の構成である。このため、第2の端子部T2は、第1の実施形態と同様に、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D2（D21）を構成する第2半導体層22および第1半導体層21に電氣的に接続される。また、第3の端子部T3は、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D1（D31）を構成する第1半導体層21に電氣的に接続される。また、第3の端子部T3は、第1アクチュエータ2A、2Bの第1櫛歯状電極をD1（D11）構成する第1半導体層21に電氣的に接続される。

[0105] 以下、本実施形態のミラーデバイス300における、各アクチュエータ2

A、2 B、3 A～3 Dを作動させるための電圧の印加方法をより具体的に説明する。

第1アクチュエータ2 A、2 Bを作動させるためには、第2の端子部T 2から第1駆動電圧を第2半導体層2 2に印加する。第2の端子部T 2から第2半導体層2 2に印加された第1駆動電圧は、第2ねじり梁部1 5を經由して第2可動部1 2の第2半導体層2 2に達し、そのまま、第2可動部1 2に設けられた第1アクチュエータ2 A、2 Bの第2櫛歯状電極D 2 1を構成する第2半導体層2 2に印加される。また、第2可動部1 2の第2半導体層2 2に達した第1駆動電圧は、第2ビア4 2を經由して、第1アクチュエータ2 A、2 Bの第2櫛歯状電極D 2 1を構成する第1半導体層2 1にも印加される。この際、第2可動部1 2の第1半導体層2 1には埋め込み絶縁層3 1が設けられているため、第1駆動電圧は、第2アクチュエータ3 A～3 Dの第1櫛歯状電極D 3 1には印加されない。

[0106] また、第1アクチュエータ2 A、2 Bを作動させるために、第2駆動電圧を、第3の端子部T 3に印加する。第2駆動電圧は、第1駆動電圧と異なる電圧値を持つ電圧である。第3の端子部T 3から印加された第2駆動電圧は、第2ねじり梁部1 5の第1半導体層2 1を經由して第2可動部1 2の第1半導体層2 1に達し、更に第1ねじり梁部1 4を經由して、第1可動部1 1の第1半導体層2 1、すなわち、第1アクチュエータ2 A、2 Bの第1櫛歯状電極D 1 (D 1 1)に印加される。第2駆動電圧は、第1駆動電圧とは異なる電圧である。これにより、第1アクチュエータ2 Aまたは2 Bの第1櫛歯状電極D 1 (D 1 1)が変位される。なお、第2電圧は、第2アクチュエータ3 A～3 Dの第2櫛歯状電極D 4 1を構成する第1半導体層2 1にも印加される。

[0107] このようにして、第1アクチュエータ2 A、2 Bの第2櫛歯状電極D 2 1に第1駆動電圧が印加され、第1櫛歯状電極D 1 1に第2駆動電圧が印加されることで、第1アクチュエータ2 A、2 Bを作動させることができる。なお、ミラーMを駆動させる場合、第1アクチュエータ2 A、2 Bの両方では

なく、いずれか一方を作動させればよい。

[0108] 第2アクチュエータ3A～3Dを作動させるためには、第1の端子部T1から第3駆動電圧を固定部13Kの第1ビア41に印加する。第3駆動電圧は、第2駆動電圧と異なる電圧値を持つ電圧である。第1の端子部T1に印加された第3駆動電圧は、第1ビア41を経由して、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D41を構成する第1半導体層21に印加される。

[0109] また、上述したように、第1アクチュエータ2A、2Bを駆動するために第3の端子T3に印加された第2駆動電圧は、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D31を構成する第1半導体層21にも印加される。これにより、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D31が変位される。

[0110] このようにして、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D41に第3駆動電圧が印加され、第1櫛歯状電極D31に第2駆動電圧が印加されることで、第2アクチュエータ3A～3Dを作動させることができる。なお、ミラーMを駆動させる場合、第2アクチュエータ3A～3Dの全部ではなく、第2アクチュエータ3Aおよび3Cを作動させるか、第2アクチュエータ3Bおよび3Dを作動させればよい。

[0111] これにより、本実施形態のミラーデバイス300は、第1の実施形態の場合と同様に、ミラーを自由に変位させることができる。

[0112] 以上説明したように、本実施形態のミラーデバイス300によれば、固定部13Kが複数の分割領域13A～13Dに分割され、各分割領域13A～13Dに、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D2（D41）が設けられ、それぞれの分割領域13A～13Dでは、第2半導体層22が2つの領域に分割されており、この分割された第2半導体層22の一方の領域は、第1半導体層21とともに、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D2（D41）を構成しており、第2半導体層22の他方の領域には、当該分割領域を構成する第2半導体層22と第1半導体層21とを電気

的に接続する第1ビア41と、第1の端子部T1とが備えられ、第1の端子部T1は、第2アクチュエータ3A～3Dの第2櫛歯状電極D2（D41）を構成する第1半導体層21に電氣的に接続されるので、機能層1の上面側に配置された第1の端子部T1から、第2アクチュエータ3A～3Dを動作させるための電圧を印加することができる。

[0113] また、本実施形態のミラーデバイス300によれば、第2可動部12の第1半導体層21に、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D2（D21）と、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D1（D31）とを絶縁分離する埋め込み絶縁層31が備えられるとともに、第2可動部12の第2半導体層22と、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D2（D21）の第1半導体層22とを電氣的に接続する第2ビア42が備えられているので、第2可動部12にそれぞれ形成された、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D2（D21）を構成する第1半導体層21と、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D1（D31）を構成する第1半導体層21とを電氣的に分離することができ、第1アクチュエータ2A、2Bと第2アクチュエータ3A～3Dを個別に制御することができる。

[0114] 更に、本実施形態のミラーデバイス300によれば、配線部13Hに備えられた第2の端子部T2が、第1アクチュエータ2A、2Bの第2櫛歯状電極D2（D21）を構成する第2半導体層22および第1半導体層21とに電氣的に接続され、また、配線部13Hに備えられた第3の端子部T3が、第2アクチュエータ3A～3Dの第1櫛歯状電極D1（D31）を構成する第1半導体層21に電氣的に接続され、更に第3の端子部T3が、第1アクチュエータ2A、2Bの第1櫛歯状電極D1（D11）を構成する第1半導体層21に電氣的に接続されているので、機能層1の上面側に配置された第2の端子部T2および第3の端子部T3から、第1アクチュエータ2A、2Bおよび第2アクチュエータ3A～3Dを動作させるための電圧を印加することができる。

[0115] (第4の実施形態)

図20および図21には、本発明の第4の実施形態であるミラーアレイ400を示す。図20はミラーアレイ400の側面図であり、図21はミラーアレイ400の平面図である。このミラーアレイは、支持基材401と、支持基材401上に備えられた複数のミラーデバイス100とから構成される。ミラーデバイス100は、第1の実施形態のミラーデバイス100であるが、他の実施形態のミラーデバイス200、300でもよい。ミラーデバイス100には、ミラーMが備えられている。

[0116] 支持基材401には、各ミラーデバイス100を駆動するための配線が設けられており、各配線は、図20に示すバンプ402を介して、各ミラーデバイス100の端子部T1～T3に接続されている。これにより、支持基材401に設けられる配線は、各ミラーデバイス100の真下に配設することができる。そして、支持基材401に設けられる配線は、各ミラーデバイス100の間に配設する必要がないため、各ミラーデバイス100の間隔を狭くすることができ、例えば、0.5mm以下とすることができる。これにより、複数のミラーMを密に配設できる。

[0117] また、本実施形態のミラーアレイは、MEMS型光スイッチ装置を構成することもできる。MEMS型光スイッチ装置は、複数のミラーMを密に配設することが可能なミラーアレイ400を備えるので、光ファイバ切替スイッチの高密度化と大規模化を実現できる。

[0118] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上記の実施形態に限定されるものではなく、例えば、ミラーMは筐体Kの一面K1側に配置されるが、本発明の駆動機構と回路構成、すなわち機能層1を用いて、機能層1側にミラーMを配置することもできる。また、第1可動部11の第1半導体層21または第2半導体層22の表面にミラーMを形成してもよいし、第1半導体層21または第2半導体層22の表面にミラーMを接合してもよい。

[0119] また、第3の実施形態のミラーデバイス300における固定部の構造を、

第2の実施形態のミラーデバイス200の固定部の構造に適用してもよい。すなわち、第2の実施形態の固定部の分割領域において、第2半導体層を2つの領域に分割させ、その一方の領域は、前記第1半導体層とともに、前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成させ、他方の領域には、当該領域を構成する第2半導体層と第1半導体層とを電氣的に接続するために層間絶縁層を貫通する第1ビアと、第2半導体層の前記他方の領域上において第1ビアに接続される第1の端子部と、を備えさせ、第1の端子部を、第1ビアを介して第2アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層に電氣的に接続させてもよい。

産業上の利用可能性

[0120] 本発明のミラーデバイス、ミラーアレイ、MEMS型光スイッチ装置は、例えば、光通信技術において好適に用いることができる。

符号の説明

[0121] 1…機能層、2、2A、2B…第1アクチュエータ、3、3A、3B、3C、3D…第2アクチュエータ、11…第1可動部、12…第2可動部、13A、13B、13C、13D…分割領域、13K…固定部、13H…配線部、14…第1ねじり梁部、15…第2ねじり梁部、21…第1半導体層、22…第2半導体層、23…層間絶縁層、31…埋め込み絶縁層、41…第1ビア、42…第2ビア、100、200、300…ミラーデバイス、400…ミラーアレイ、D1、D11、D31…第1櫛歯状電極、D2、D21、D41…第2櫛歯状電極、K…筐体、K1…空洞部、K2…筐体の一面、K3…筐体の他面、K4…操作部、M…ミラー、R1…第1の回転方向、R2…第2の回転方向、T1…第1の端子部（端子部）、T2…第2の端子部（端子部）、T3…第3の端子部（端子部）。

請求の範囲

[請求項1]

空洞部を有する筐体と、
前記筐体の一面側に配置されたミラーと、
前記筐体の他面側に配置された機能層と、
前記筐体の前記空洞部内に配置されて、前記機能層と前記ミラーとを連結する操作部と、を備え、
前記機能層には、前記ミラーを第1の回転方向に回動させる静電駆動式の第1アクチュエータと、前記第1の回転方向と交差する第2の回転方向に前記ミラーを回動させる静電駆動式の第2アクチュエータと、前記筐体とは反対側の面に配置された端子部と、が備えられている、ミラーデバイス。

[請求項2]

筐体と、
ミラーと、
前記筐体の上に配置されて前記ミラーを駆動する機能層と、を少なくとも備え、
前記機能層は、第1半導体層と、第2半導体層と、前記第1半導体層と前記第2半導体層との間に配置された層間絶縁層とを有しており、
前記機能層には、前記ミラーを第1の回転方向に回動させる静電駆動式の第1アクチュエータと、前記第1の回転方向と交差する第2の回転方向に前記ミラーを回動させる静電駆動式の第2アクチュエータと、が備えられ、
前記第1アクチュエータおよび前記第2アクチュエータはそれぞれ、前記第1半導体層よりなる第1櫛歯状電極と、前記第1半導体層、前記層間絶縁層および前記第2半導体層よりなる第2櫛歯状電極と、を有する、ミラーデバイス。

[請求項3]

前記機能層は、第1半導体層と、第2半導体層と、前記第1半導体層と前記第2半導体層との間に配置された層間絶縁層とを有しており

、
前記第1アクチュエータおよび前記第2アクチュエータはそれぞれ、前記第1半導体層よりなる第1櫛歯状電極と、前記第1半導体層、前記層間絶縁層および前記第2半導体層よりなる第2櫛歯状電極と、を有する、請求項1に記載のミラーデバイス。

[請求項4]

前記機能層には、
前記操作部が接合される第1可動部と、
前記第1可動部を囲むように配置された環状の第2可動部と、
前記第2可動部を囲むように配置されて、前記筐体の前記他面側に接合する固定部と、
前記第2可動部に隣接して、前記筐体の前記他面側に接合する配線部と、
前記固定部及び前記配線部に配置される複数の前記端子部と、
前記第1の回転方向の回転軸方向に延在して前記第1可動部と前記第2可動部とを接続する第1ねじり梁部と、
前記第2の回転方向の回転軸方向に延在して前記第2可動部と前記配線部とを接続する第2ねじり梁部と、
が備えられ、
前記第1可動部、前記第2可動部、前記固定部、前記配線部および前記第2ねじり梁部は、前記第1半導体層と、前記第1半導体層の少なくとも一部または全部を覆う前記層間絶縁層および前記第2半導体層と、から構成され、
前記第1ねじり梁部は、前記第1半導体層から構成される、請求項3に記載のミラーデバイス。

[請求項5]

前記機能層には、
前記ミラーを直接または間接に固定する第1可動部と、
前記第1可動部を囲むように配置された環状の第2可動部と、
前記第2可動部を囲むように配置されて、前記筐体の前記他面側に

接合する固定部と、

前記第2可動部に隣接して、前記筐体の前記他面側に接合する配線部と、

前記固定部及び前記配線部に配置される複数の端子部と、

前記第1の回転方向の回転軸方向に延在して前記第1可動部と前記第2可動部とを接続する第1ねじり梁部と、

前記第2の回転方向の回転軸方向に延在して前記第2可動部と前記配線部とを接続する第2ねじり梁部と、

が備えられ、

前記第1可動部、前記第2可動部、前記固定部、前記配線部および前記第2ねじり梁部は、前記第1半導体層と、前記第1半導体層の少なくとも一部または全部を覆う前記層間絶縁層および前記第2半導体層と、から構成され、

前記第1ねじり梁部は、前記第1半導体層から構成される、請求項2に記載のミラーデバイス。

[請求項6]

前記第1アクチュエータの前記第1櫛歯状電極は前記第1可動部に設けられ、前記第2櫛歯状電極は前記第2可動部に設けられ、

前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極は前記第2可動部に設けられ、前記第2櫛歯状電極は前記固定部に設けられている、請求項4または請求項5に記載のミラーデバイス。

[請求項7]

前記固定部は、複数の分割領域に分割されており、

それぞれの前記分割領域には、前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極が設けられており、

それぞれの前記分割領域には、当該分割領域を構成する前記第1半導体層と前記第2半導体層とを電氣的に接続するために前記層間絶縁層を貫通する第1ビアと、前記第2半導体層上において前記第1ビアに接続される第1の端子部と、が備えられ、

前記第1の端子部は、前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電

極を構成する第2半導体層に電氣的に接続されるとともに、前記第1ビアを介して前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層に電氣的に接続される、請求項6に記載のミラーデバイス。

[請求項8] 前記環状の第2可動部には、その内側に、前記第1アクチュエータを構成する前記第2櫛歯状電極が設けられるとともに、その外側に、前記第2アクチュエータを構成する前記第1櫛歯状電極が設けられており、

前記第2可動部の前記第1半導体層には、内側の前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極と、外側の前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極とを絶縁分離する埋め込み絶縁層が備えられ、

更に、前記第2可動部には、前記第2半導体層と、内側の前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極の前記第1半導体層とを電氣的に接続するために前記層間絶縁層を貫通する第2ビアが備えられている、請求項7に記載のミラーデバイス。

[請求項9] 前記第2ねじり梁部の前記第2半導体層は、前記配線部に設けられた第2の端子部に接続されており、

前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層は、前記配線部に設けられた第3の端子部に接続されており、

前記第2の端子部は、前記第2ねじり梁部を構成する前記第2半導体層と前記第2可動部の前記第2ビアとを介して、前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層と前記第2半導体層とに電氣的に接続されており、

前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層を介して、前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されており、

更に前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部、前記第2可動部および前記第1ねじり梁部のそれぞれの前記第1半導体層を介して、前

記第1アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されている、請求項8に記載のミラーデバイス。

[請求項10]

前記環状の第2可動部には、その内側に、前記第1アクチュエータを構成する前記第2櫛歯状電極が設けられるとともに、その外側に、前記第2アクチュエータを構成する前記第1櫛歯状電極が設けられ、

前記第2ねじり梁部の前記第2半導体層は、前記配線部に設けられた第2の端子部に接続されており、

前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層は、前記配線部に設けられた第3の端子部に接続されており、

前記第2の端子部は、前記第2ねじり梁部を構成する前記第2半導体層を介して、前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する前記第2半導体層に電氣的に接続されており、

前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層を介して、前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層と、前記第1アクチュエータの第2櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層とに電氣的に接続されており、

更に前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部、前記第2可動部および前記第1ねじり梁部のそれぞれの前記第1半導体層を介して、前記第1アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されている、請求項7に記載のミラーデバイス。

[請求項11]

前記固定部は、複数の分割領域に分割されており、

それぞれの前記分割領域には、前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極が設けられており、

それぞれの前記分割領域では、第2半導体層が2つの領域に分割されており、

前記第2半導体層の一方の領域は、前記第1半導体層とともに、前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成しており、

前記第2半導体層の他方の領域には、当該領域を構成する前記第2

半導体層と前記第1半導体層とを電氣的に接続するために前記層間絶縁層を貫通する第1ビアと、前記第2半導体層の前記他方の領域上において前記第1ビアに接続される第1の端子部と、が備えられ、

前記第1の端子部は、前記第1ビアを介して前記第2アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する第1半導体層に電氣的に接続される、請求項6に記載のミラーデバイス。

[請求項12]

前記環状の第2可動部には、その内側に、前記第1アクチュエータを構成する前記第2櫛歯状電極が設けられるとともに、その外側に、前記第2アクチュエータを構成する前記第1櫛歯状電極が設けられており、

前記第2可動部の前記第1半導体層には、内側の前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極と、外側の前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極とを絶縁分離する埋め込み絶縁層が備えられ、

更に、前記第2可動部には、前記第2半導体層と、内側の前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極の前記第1半導体層とを電氣的に接続するために前記層間絶縁層を貫通する第2ビアが備えられている、請求項11に記載のミラーデバイス。

[請求項13]

前記第2ねじり梁部の前記第2半導体層は、前記配線部に設けられた第2の端子部に電氣的に接続されており、

前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層は、前記配線部に設けられた第3の端子部に接続されており、

前記第2の端子部は、前記第2ねじり梁部を構成する前記第2半導体層と前記第2可動部の前記第2ビアとを介して、前記第1アクチュエータの前記第2櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層と前記第2半導体層とに電氣的に接続されており、

前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部の前記第1半導体層を介して、前記第2アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されており、

更に前記第3の端子部は、前記第2ねじり梁部、前記第2可動部および前記第1ねじり梁部のそれぞれの前記第1半導体層を介して、前記第1アクチュエータの前記第1櫛歯状電極を構成する前記第1半導体層に電氣的に接続されている請求項12に記載のミラーデバイス。

[請求項14] 支持基材上に、複数のミラーデバイスが備えられており、前記ミラーデバイスが、請求項1乃至請求項5または請求項7乃至請求項13の何れか一項に記載のミラーデバイスである、ミラーアレイ。

[請求項15] 支持基材上に、複数のミラーデバイスが備えられており、前記ミラーデバイスが、請求項6に記載のミラーデバイスである、ミラーアレイ。

[請求項16] 前記ミラーデバイスは、前記端子部に形成されたバンプを介して支持基材に接合されている、請求項14に記載のミラーアレイ。

[請求項17] 前記ミラーデバイスは、前記端子部に形成されたバンプを介して支持基材に接合されている、請求項15に記載のミラーアレイ。

[請求項18] 前記ミラーデバイス同士の間隔が0.5mm以下である、請求項14に記載のミラーアレイ。

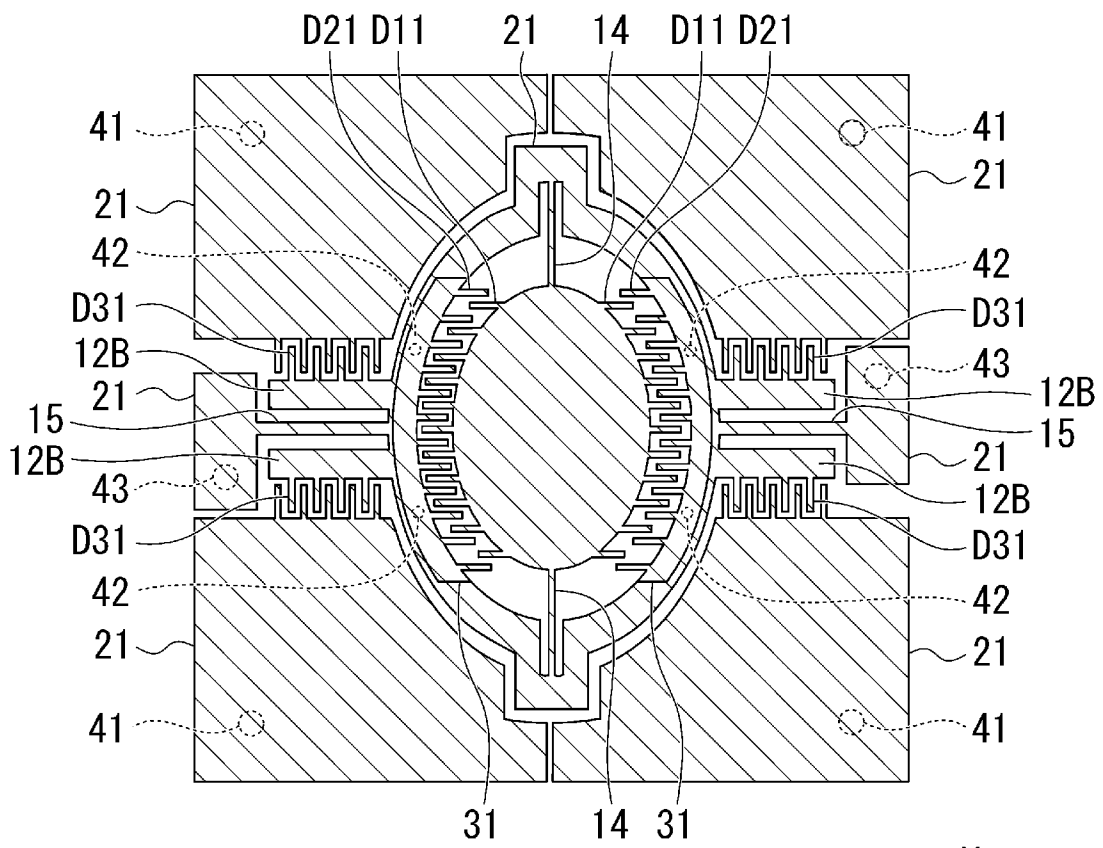
[請求項19] 前記ミラーデバイス同士の間隔が0.5mm以下である、請求項15に記載のミラーアレイ。

[請求項20] ミラーアレイが備えられた光ファイバー用のMEMS型光スイッチ装置であって、前記ミラーアレイは、支持基材上に、複数のミラーデバイスが備えられており、前記ミラーデバイスが、請求項1乃至請求項5または請求項7乃至請求項13の何れか一項に記載のミラーデバイスである、光ファイバー用のMEMS型光スイッチ装置。

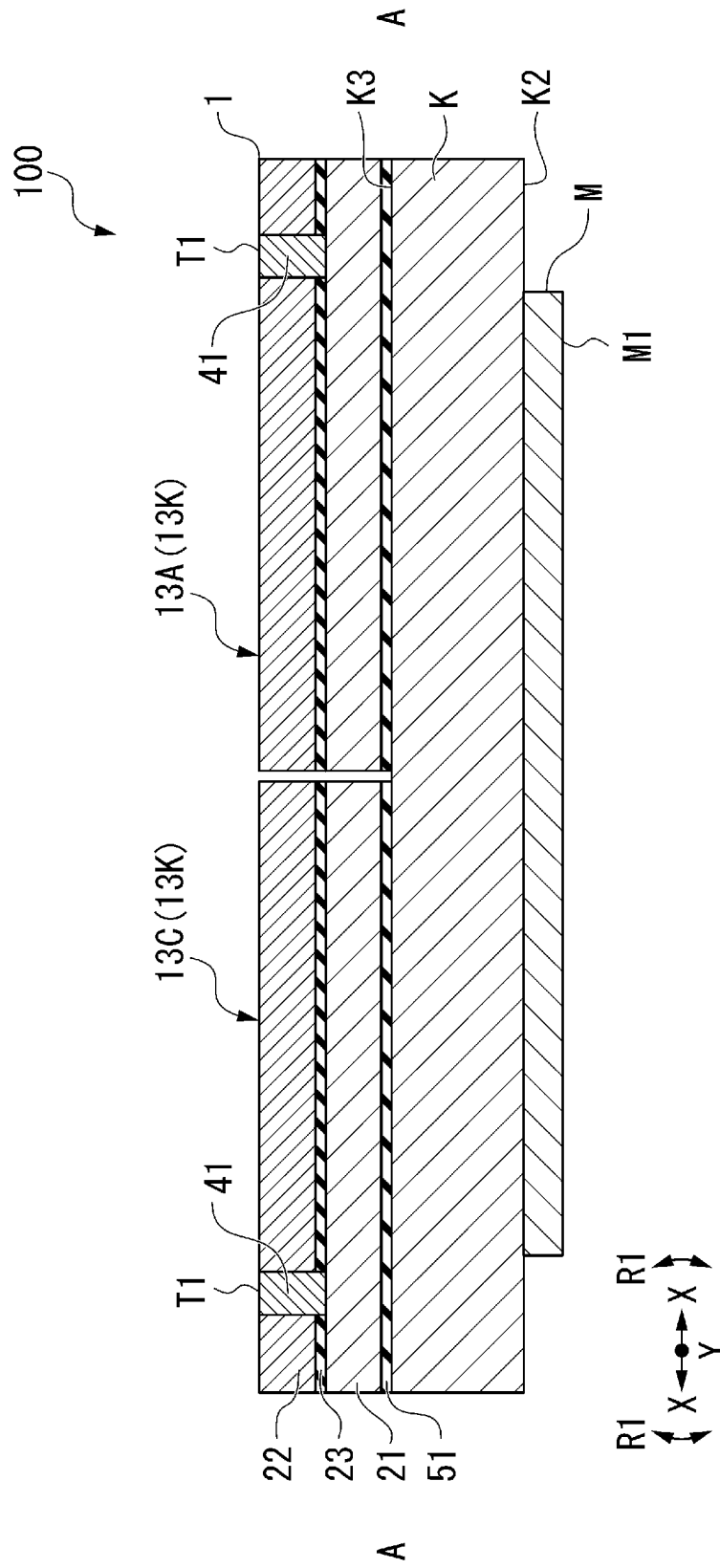
[請求項21] ミラーアレイが備えられた光ファイバー用のMEMS型光スイッチ装置であって、前記ミラーアレイは、支持基材上に、複数のミラーデバイスが備えられており、前記ミラーデバイスが、請求項6に記載のミラーデバイスである、光ファイバー用のMEMS型光スイッチ装置

o

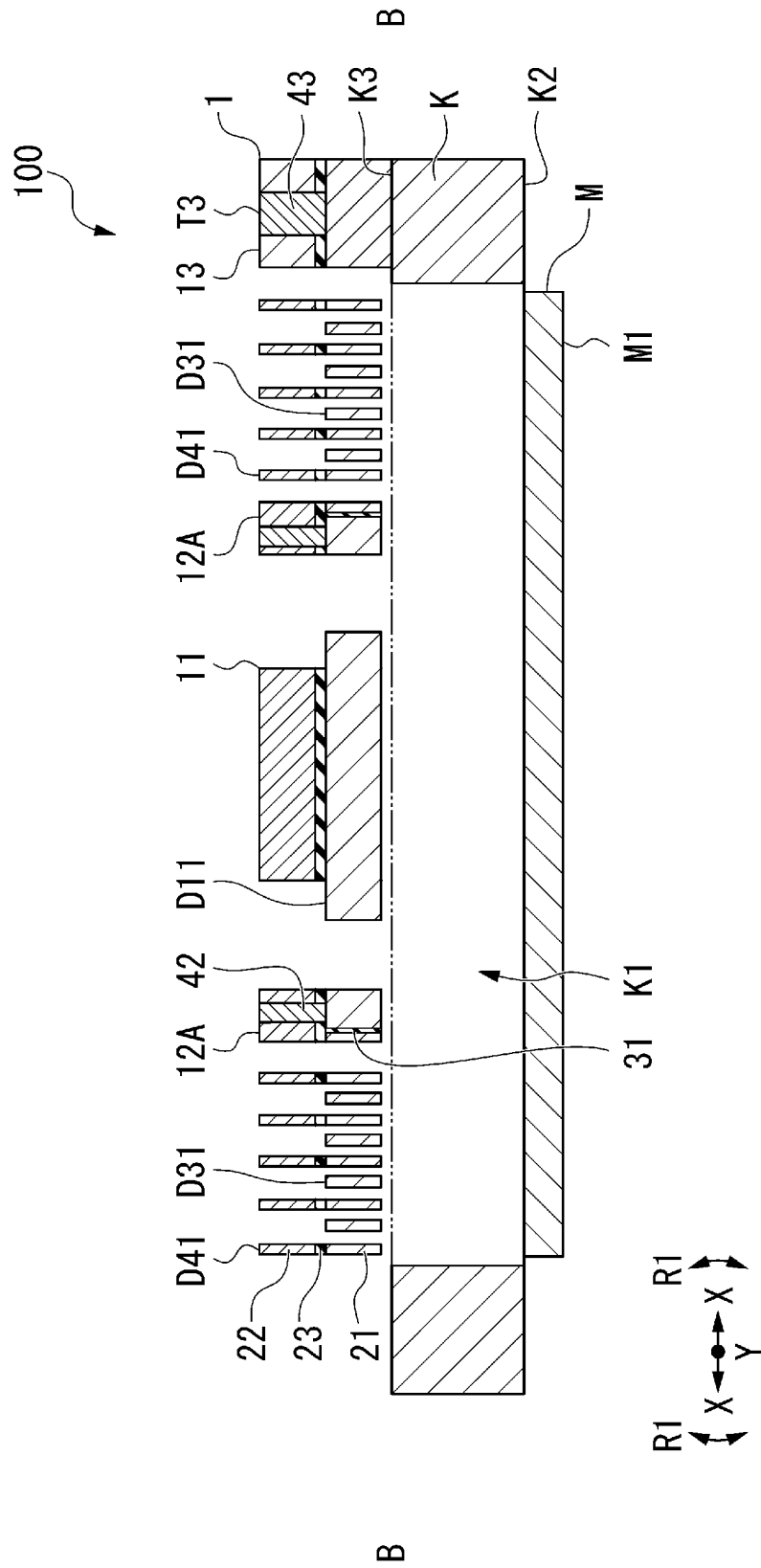
[図1C]



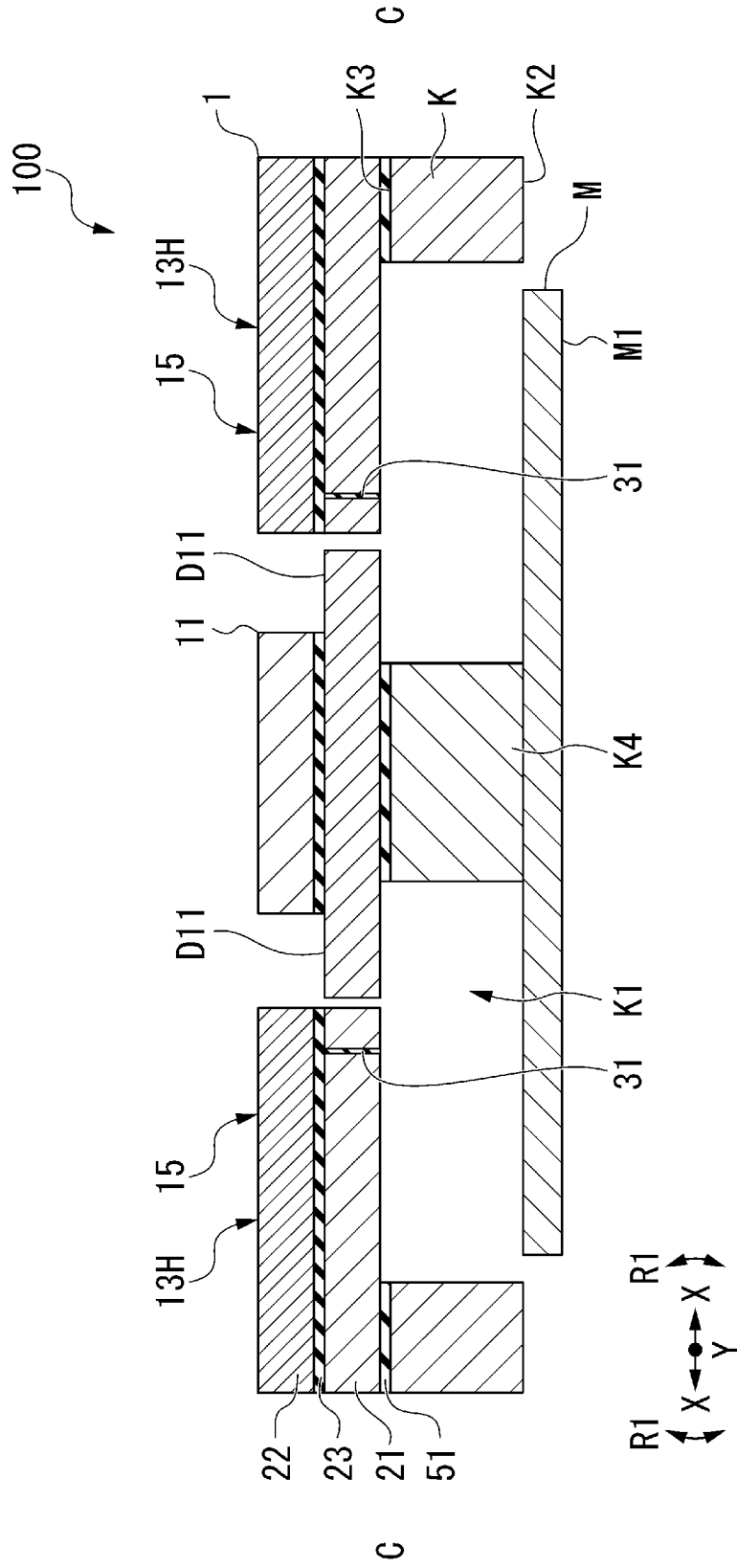
[図2]



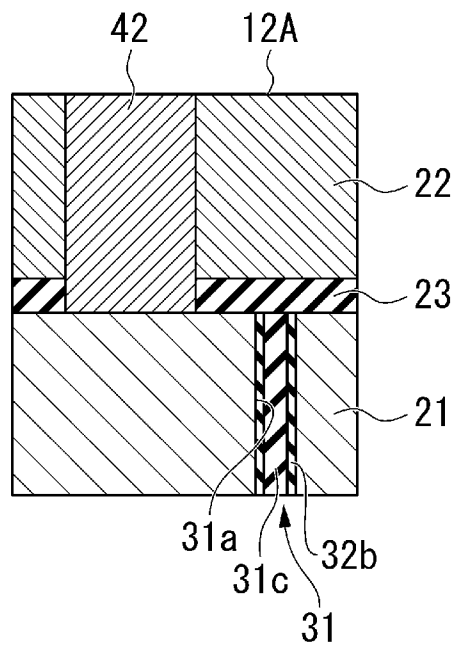
[図3]



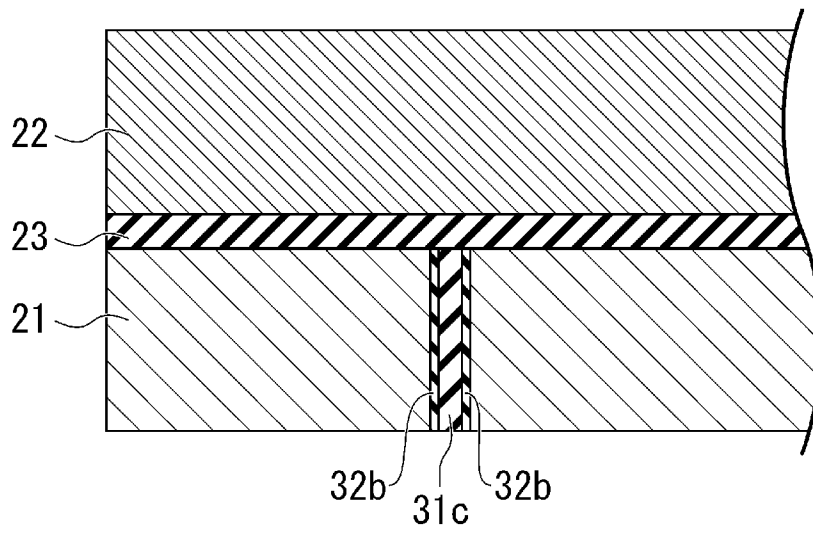
[図4]



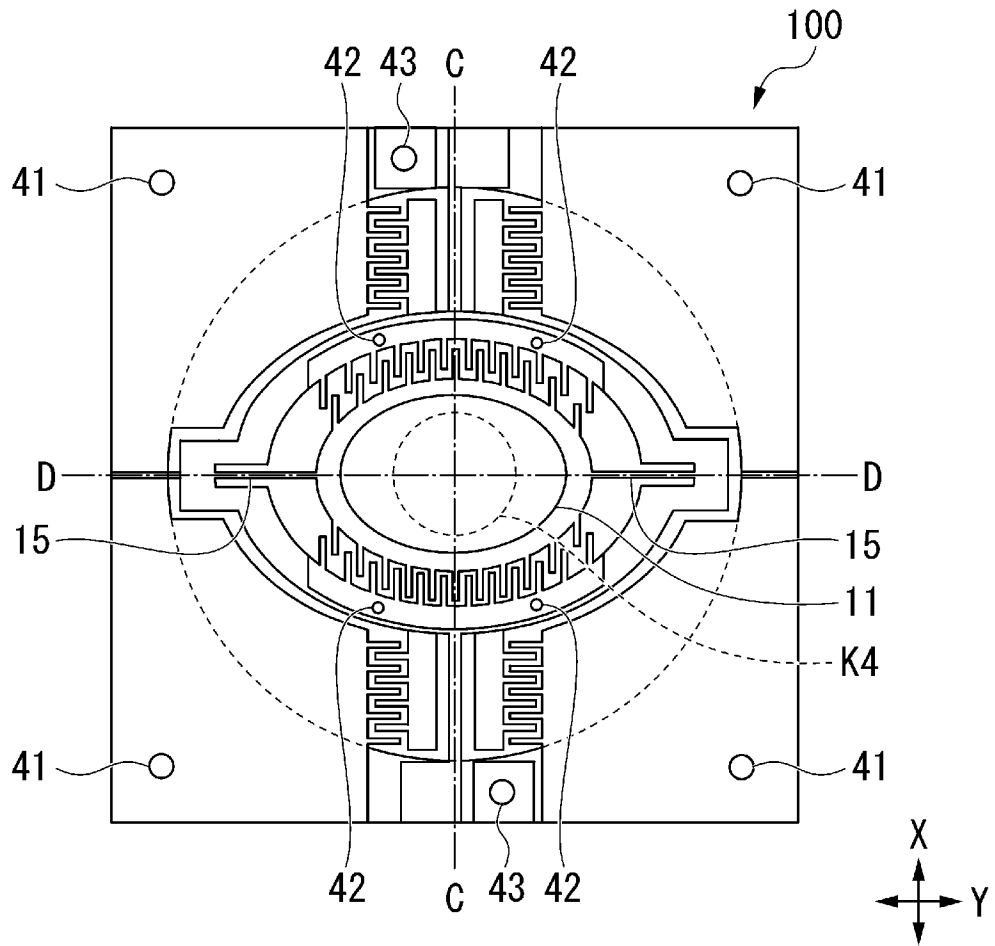
[図5]



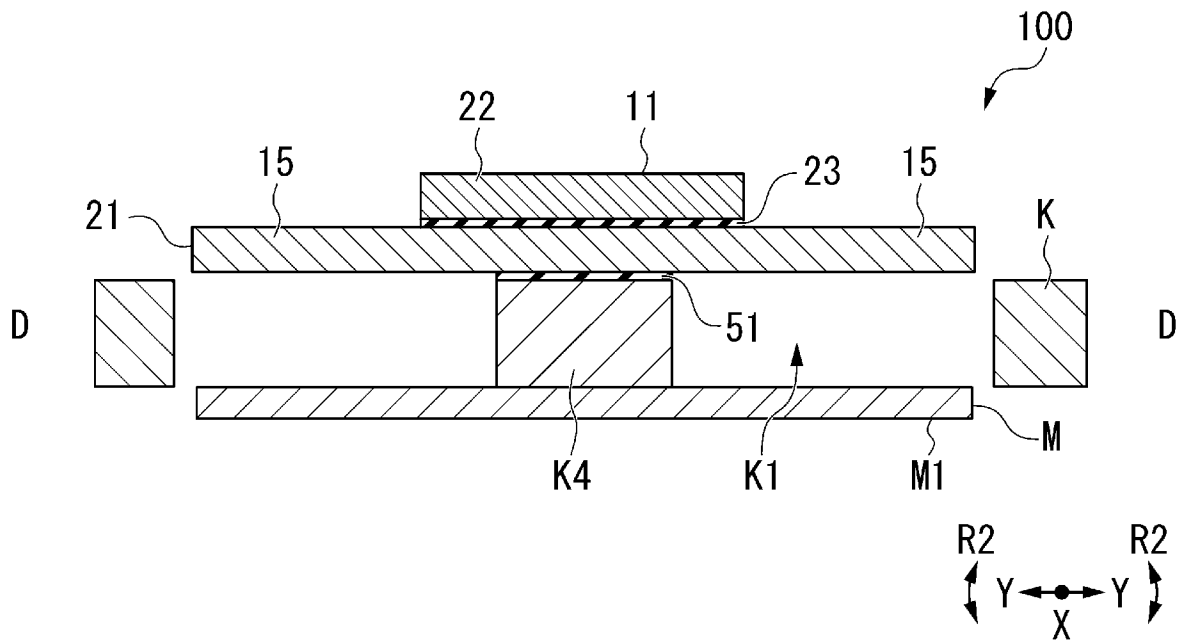
[図6]



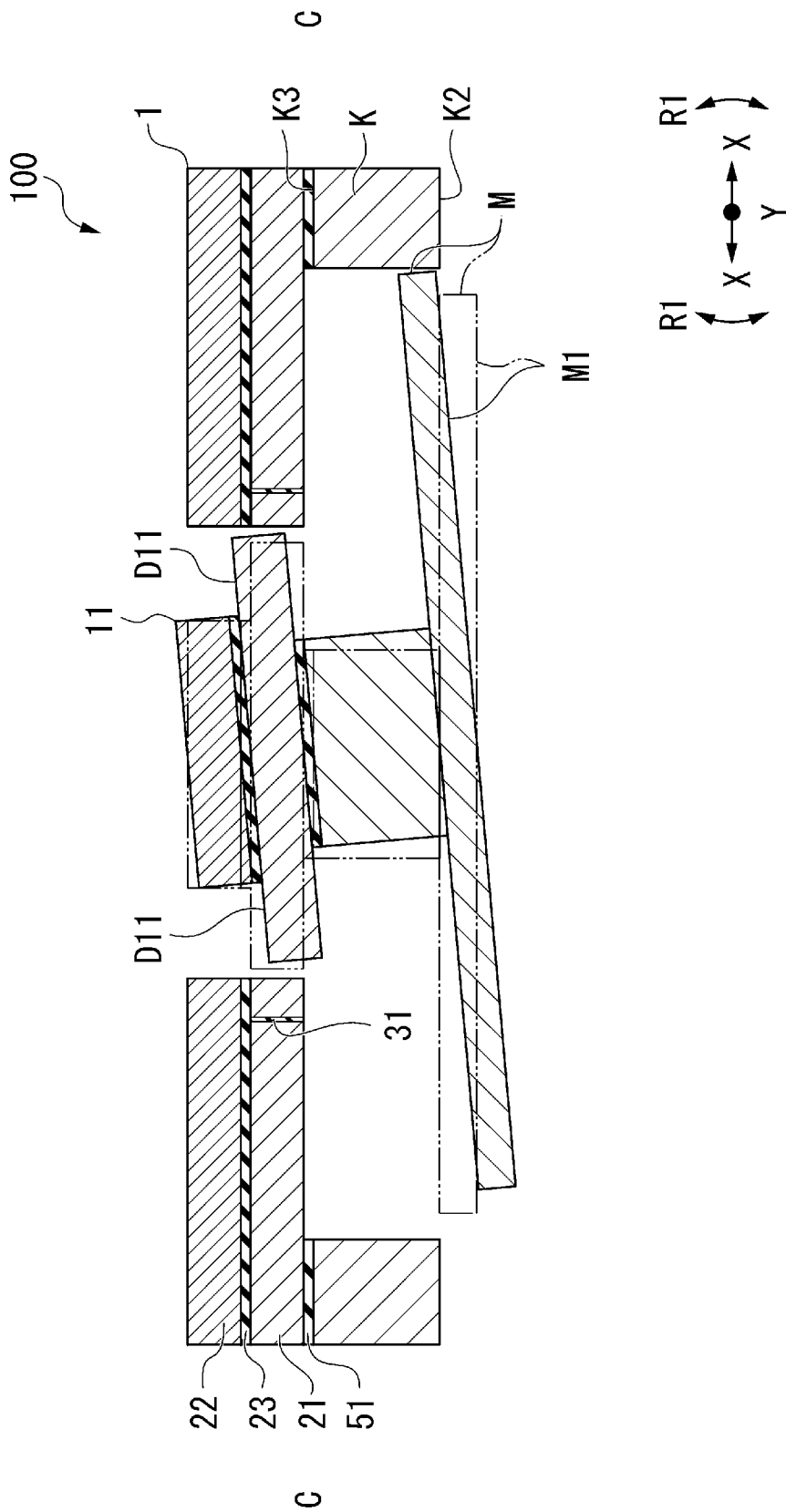
[図7]



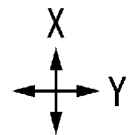
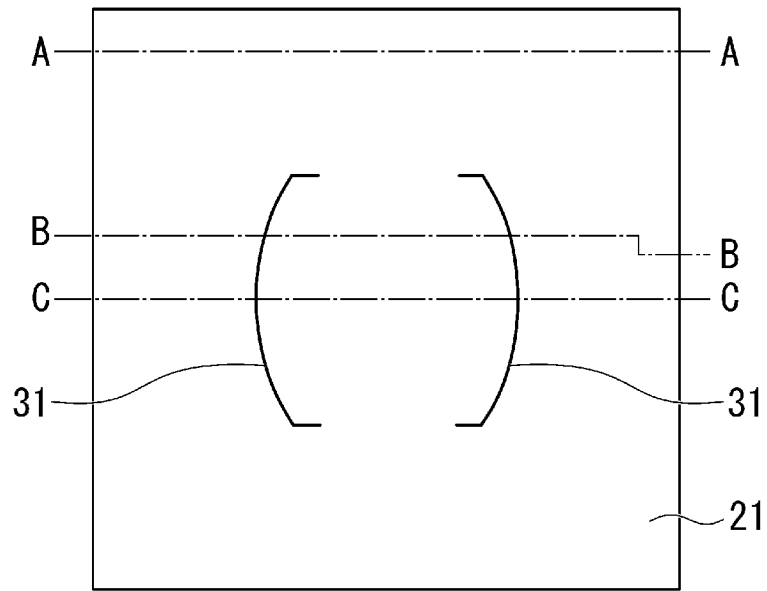
[図8]



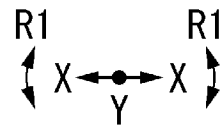
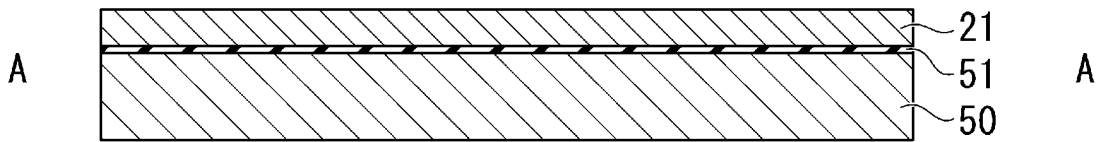
[図9]



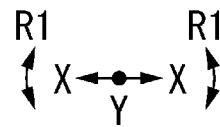
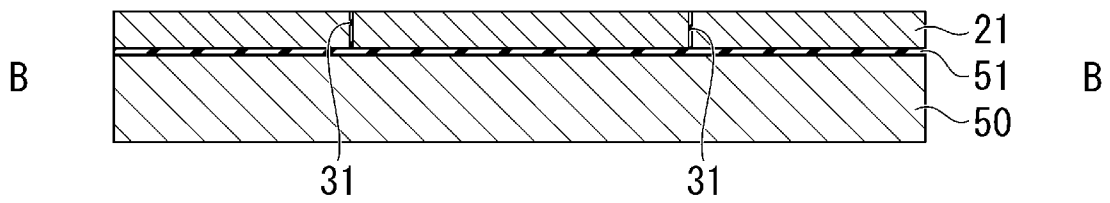
[図10-1]



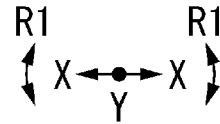
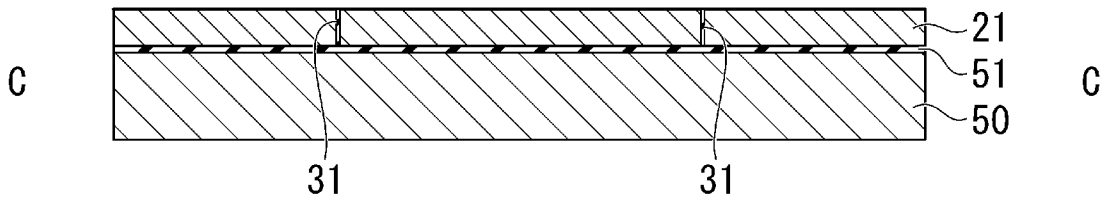
[図10-2]



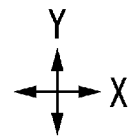
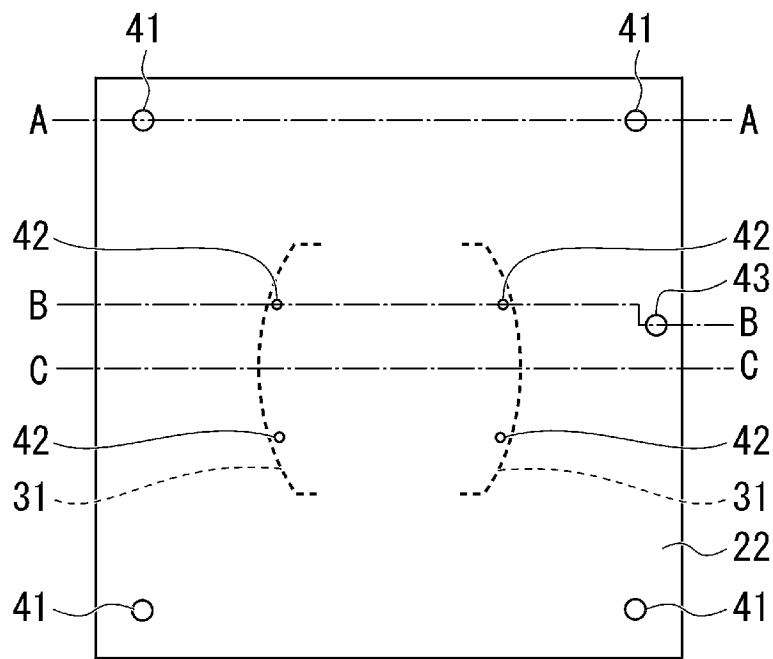
[図10-3]



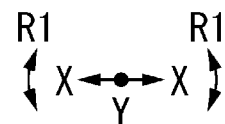
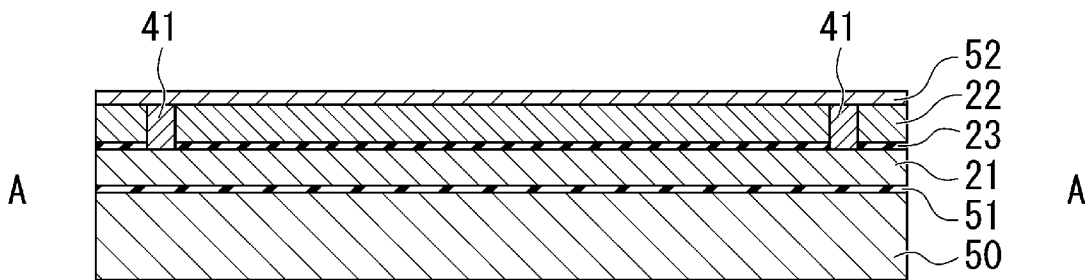
[図10-4]



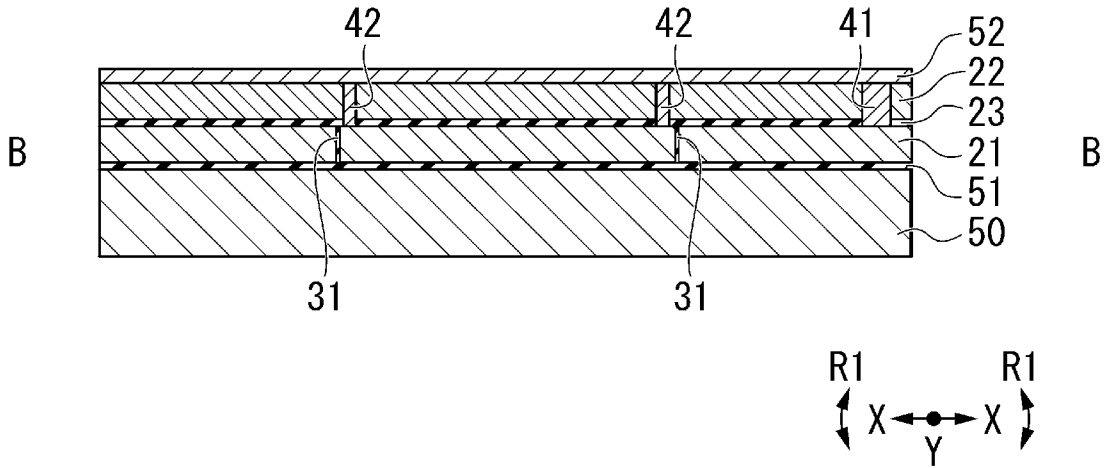
[図11-1]



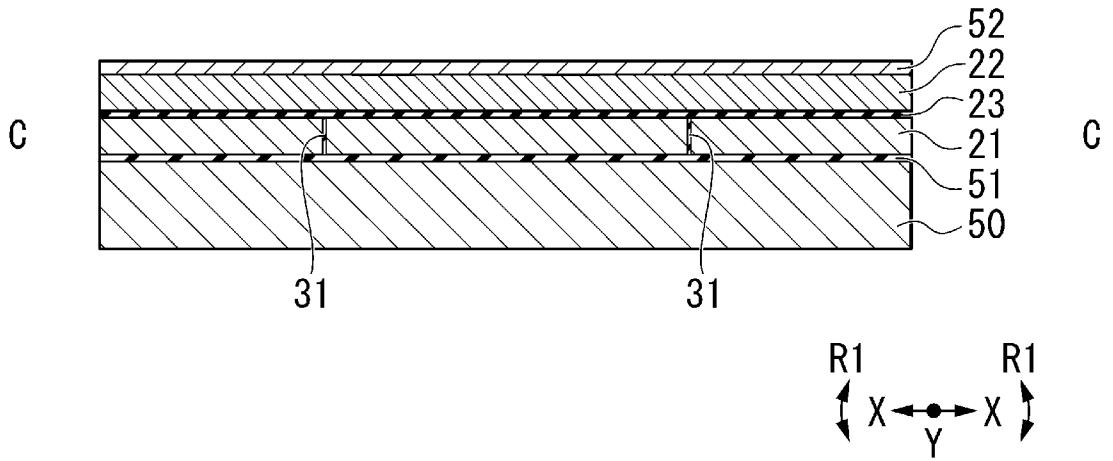
[図11-2]



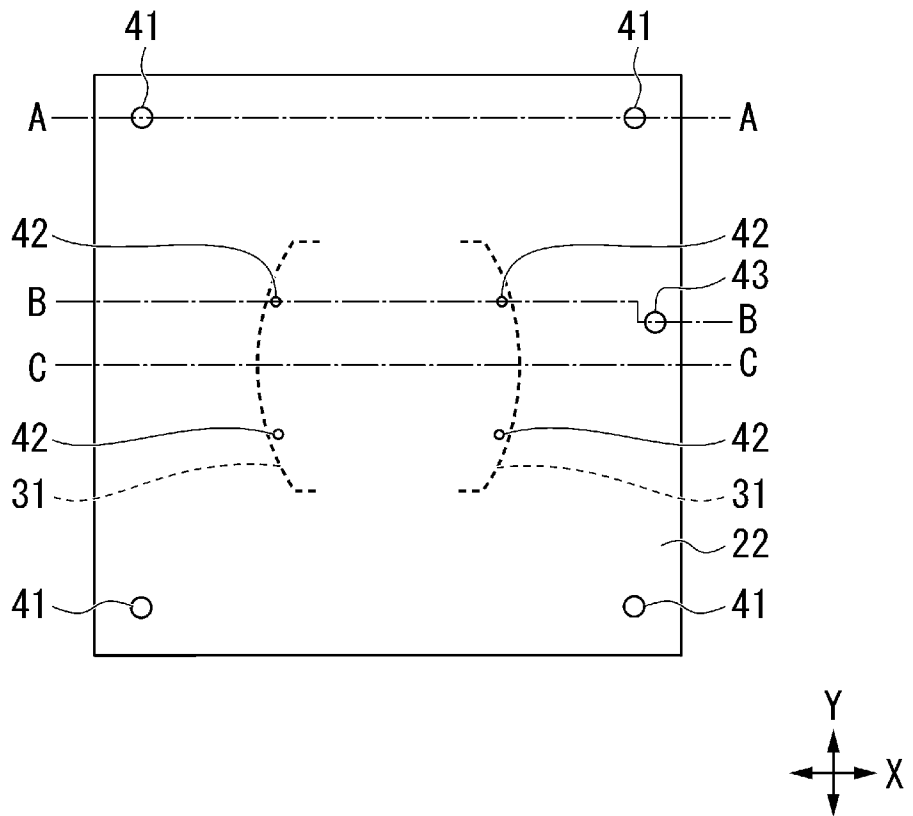
[図11-3]



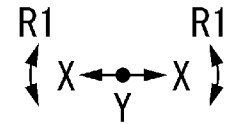
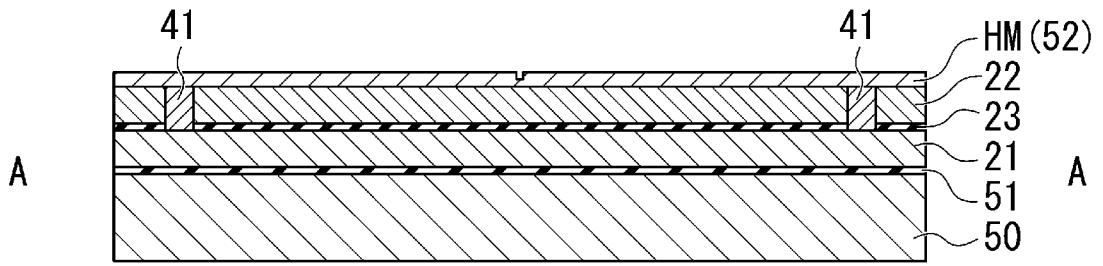
[図11-4]



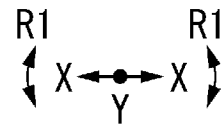
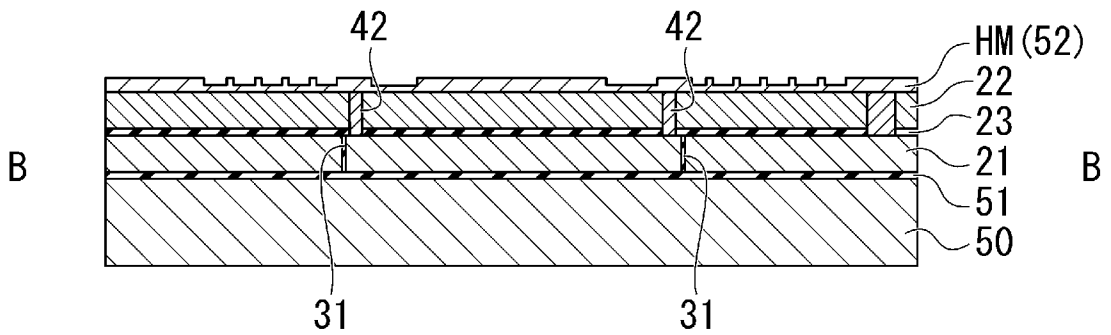
[図12-1]



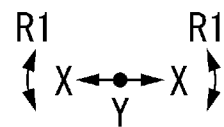
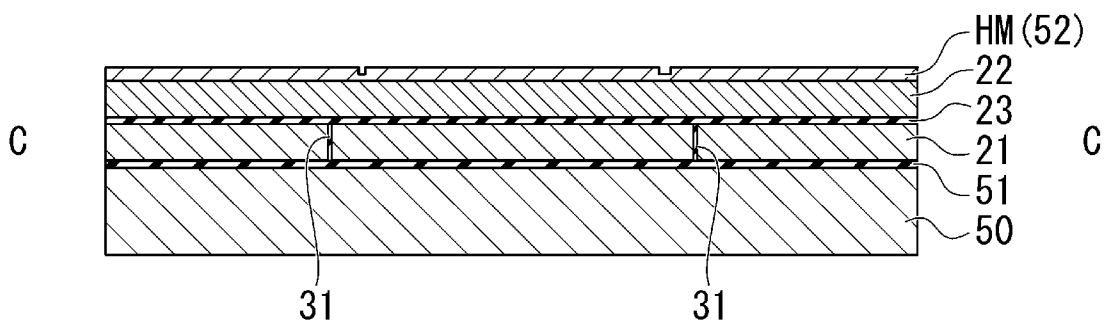
[図12-2]



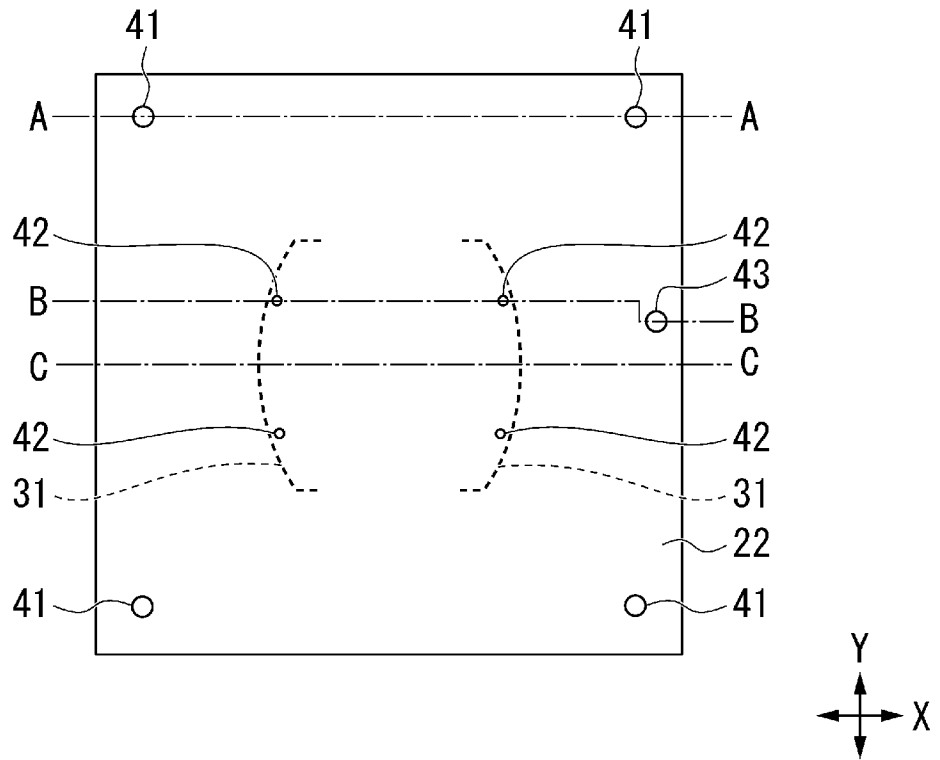
[図12-3]



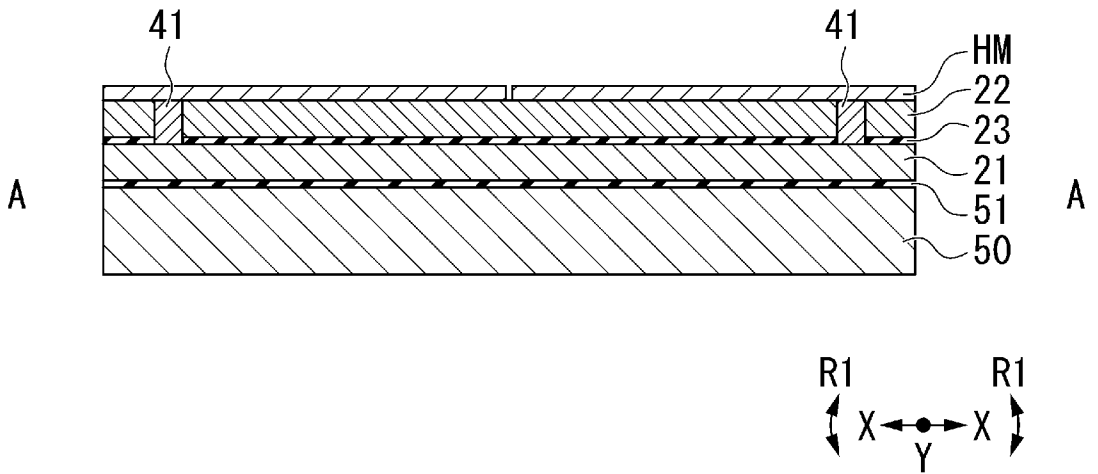
[図12-4]



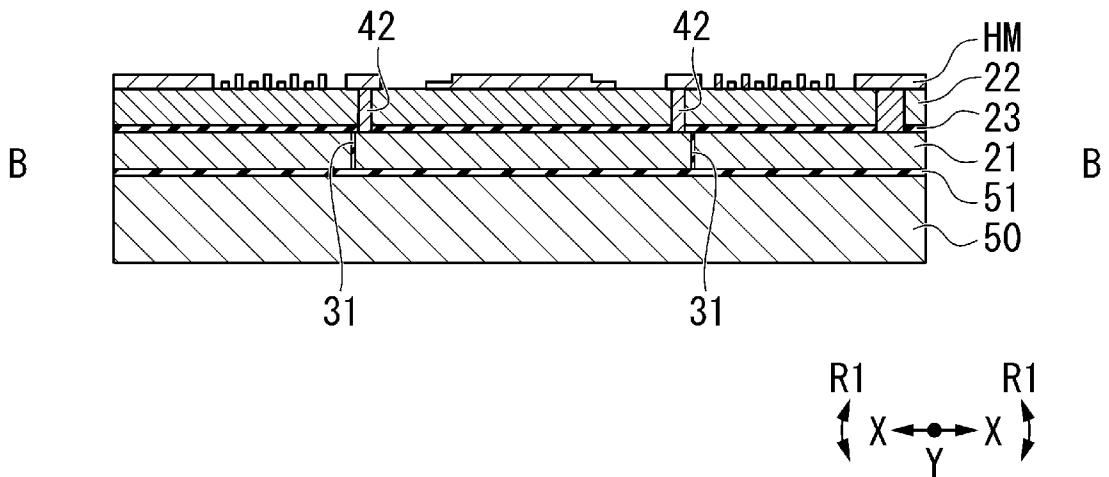
[図13-1]



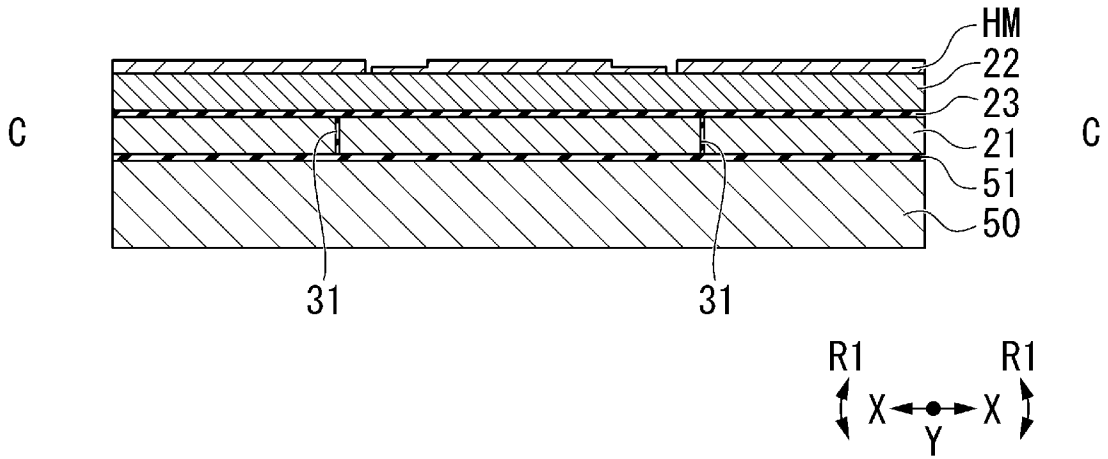
[図13-2]



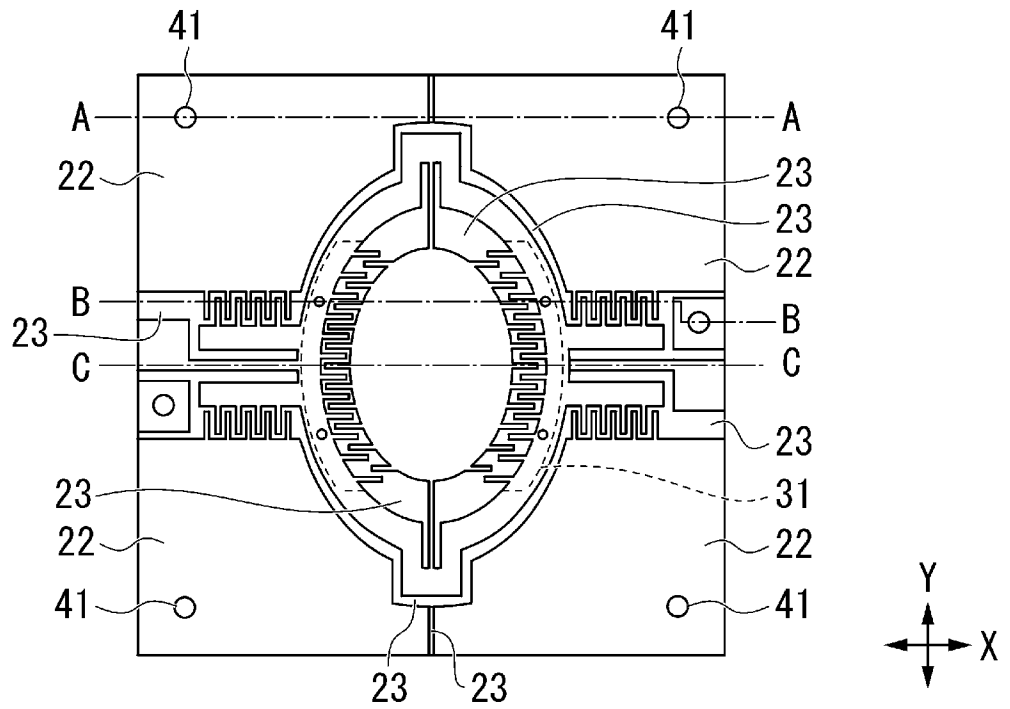
[図13-3]



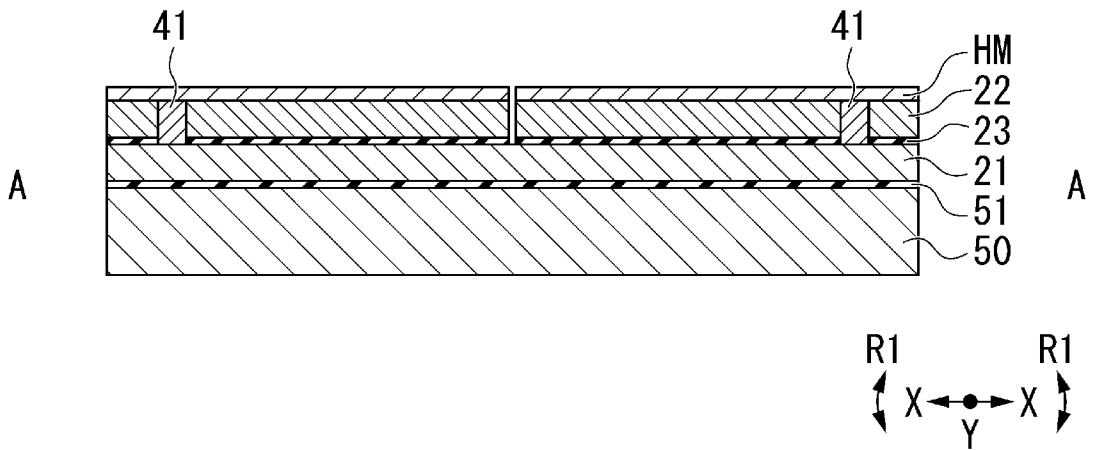
[図13-4]



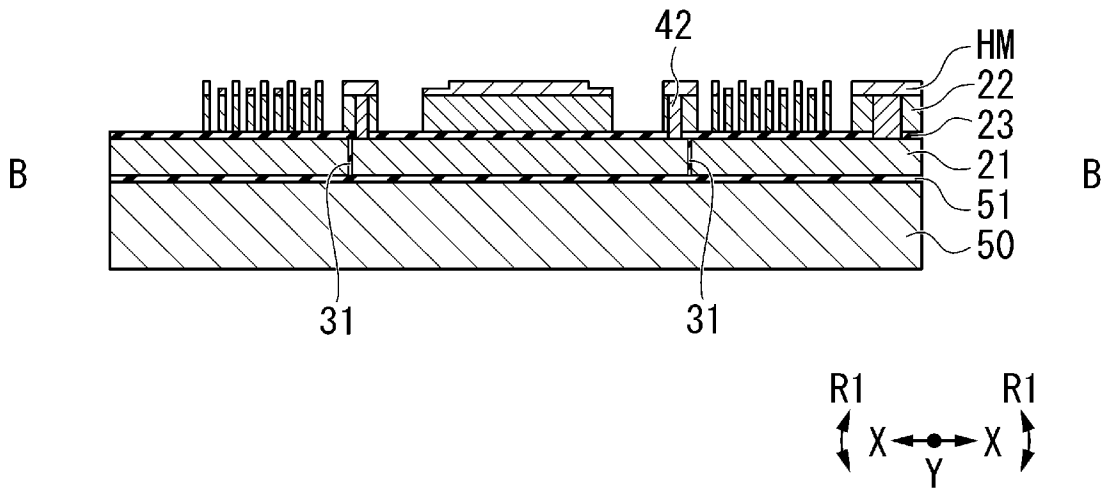
[図14-1]



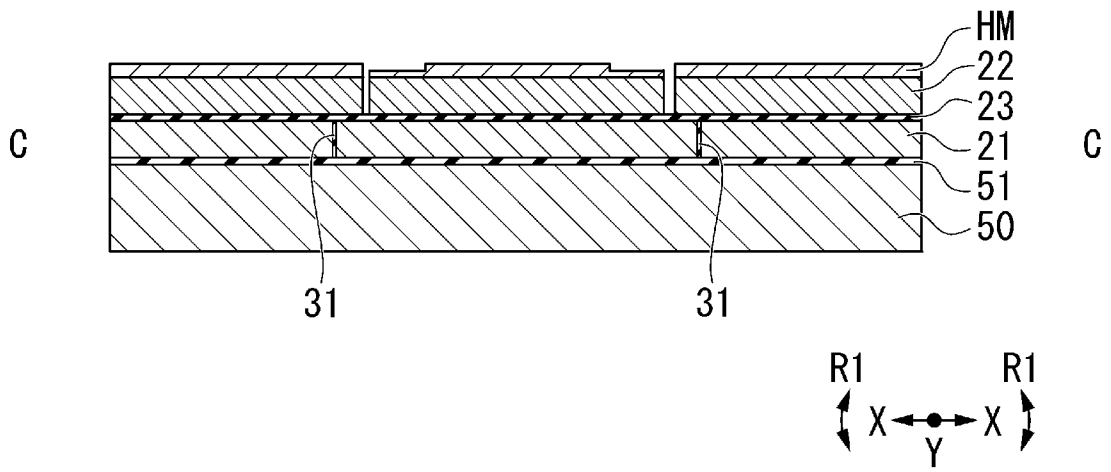
[図14-2]



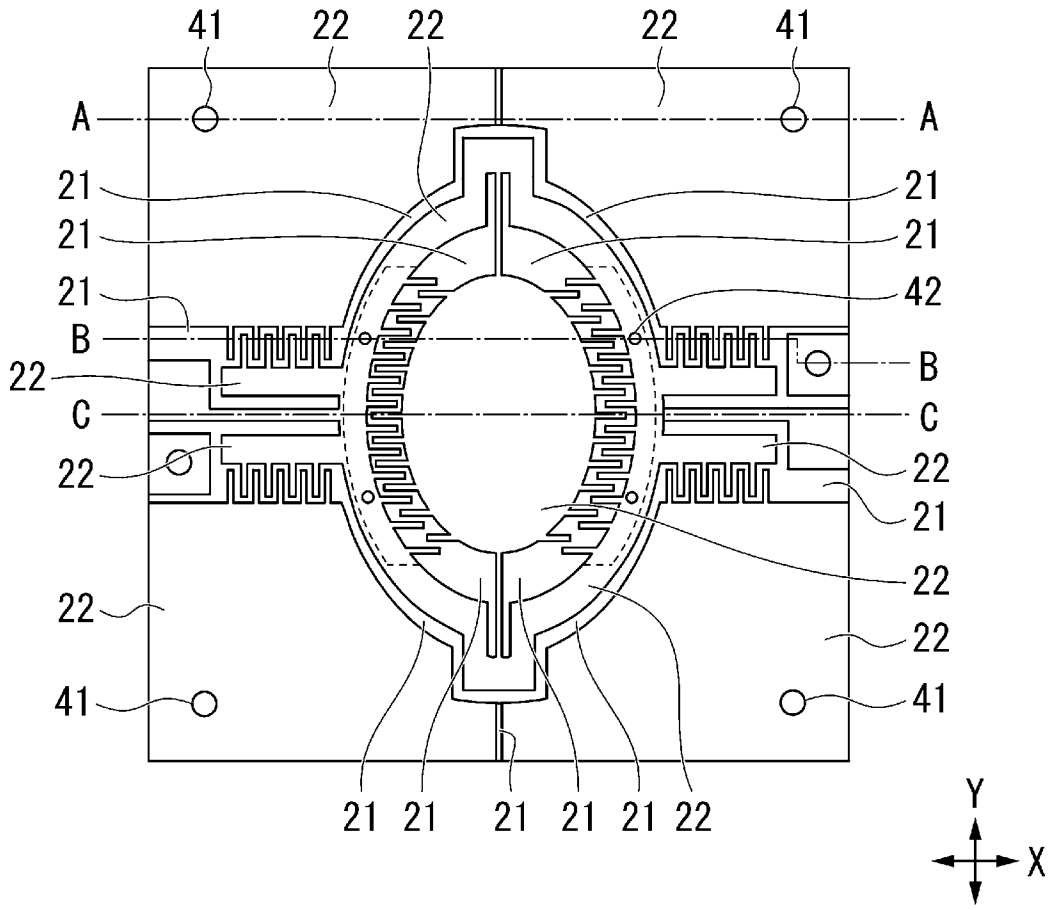
[図14-3]



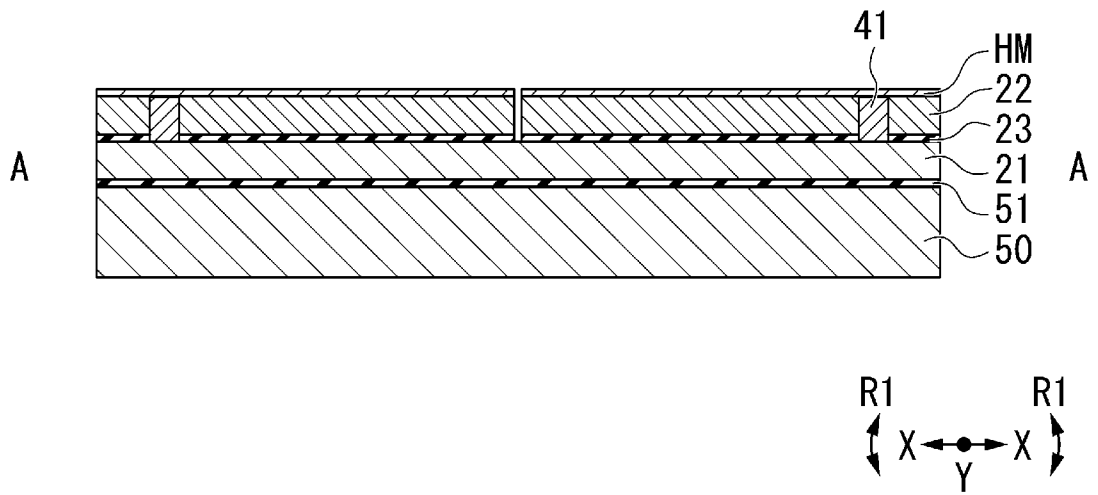
[図14-4]



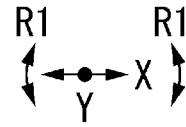
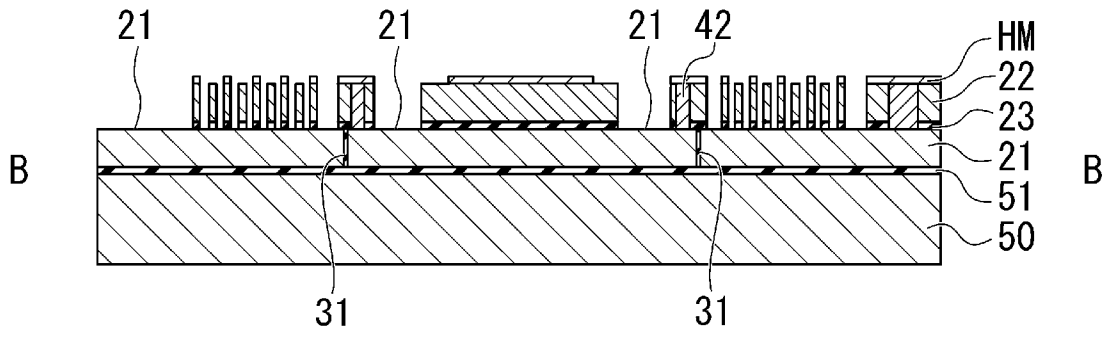
[図15-1]



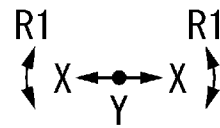
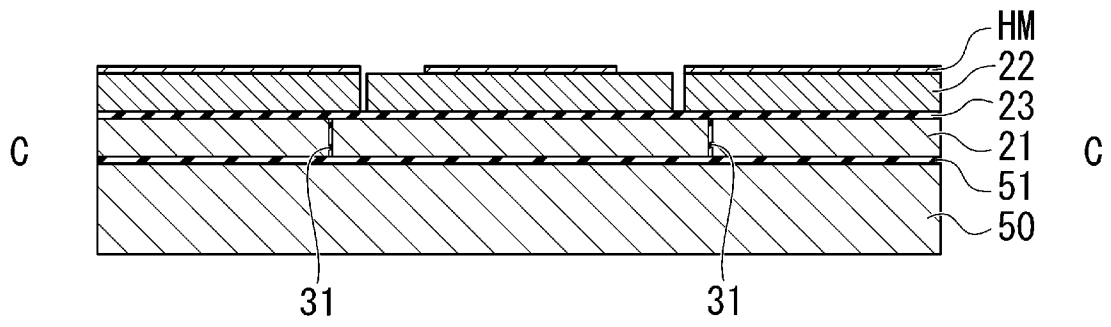
[図15-2]



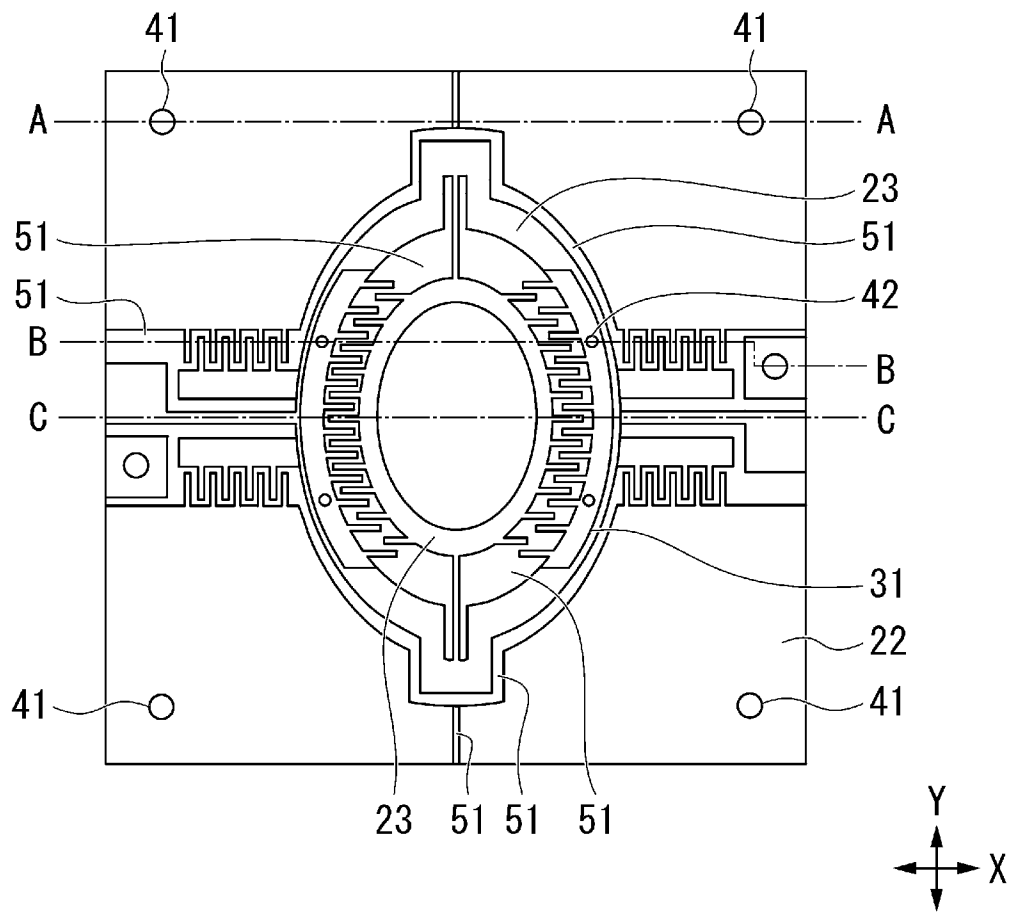
[図15-3]



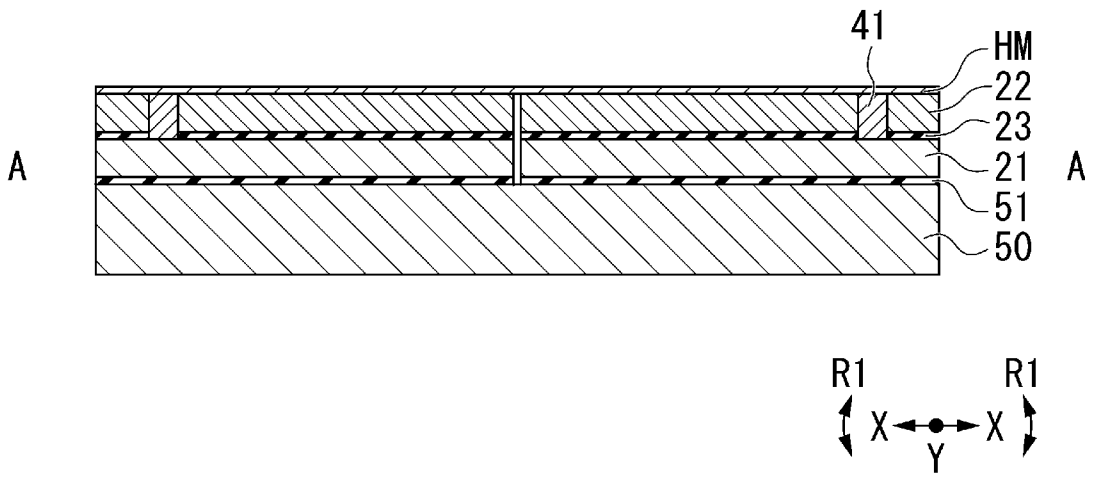
[図15-4]



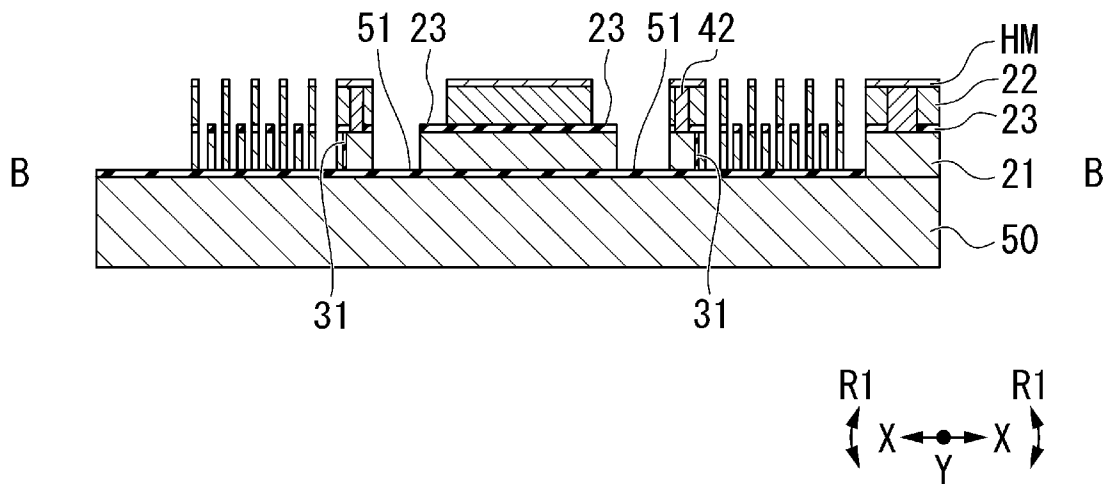
[図16-1]



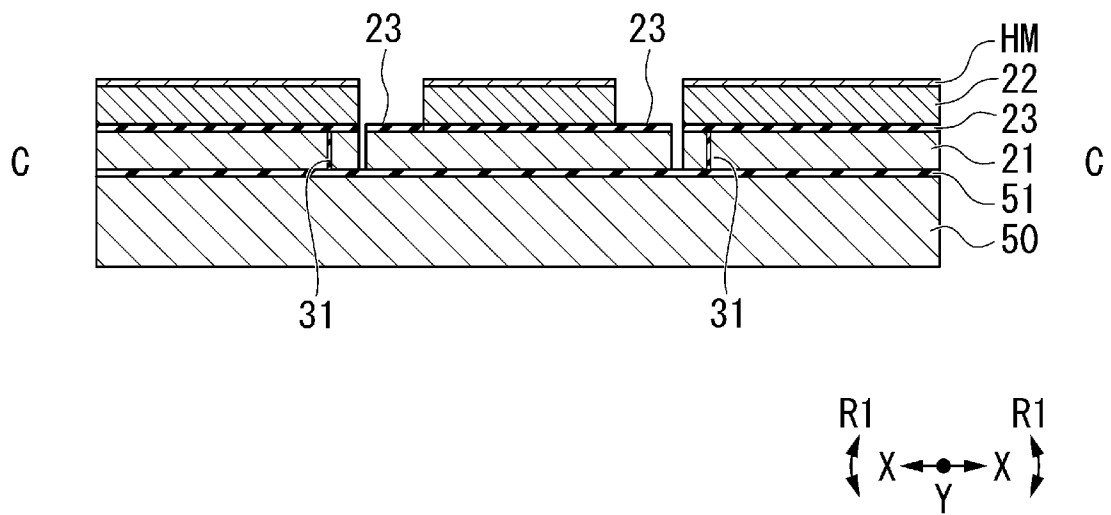
[図16-2]



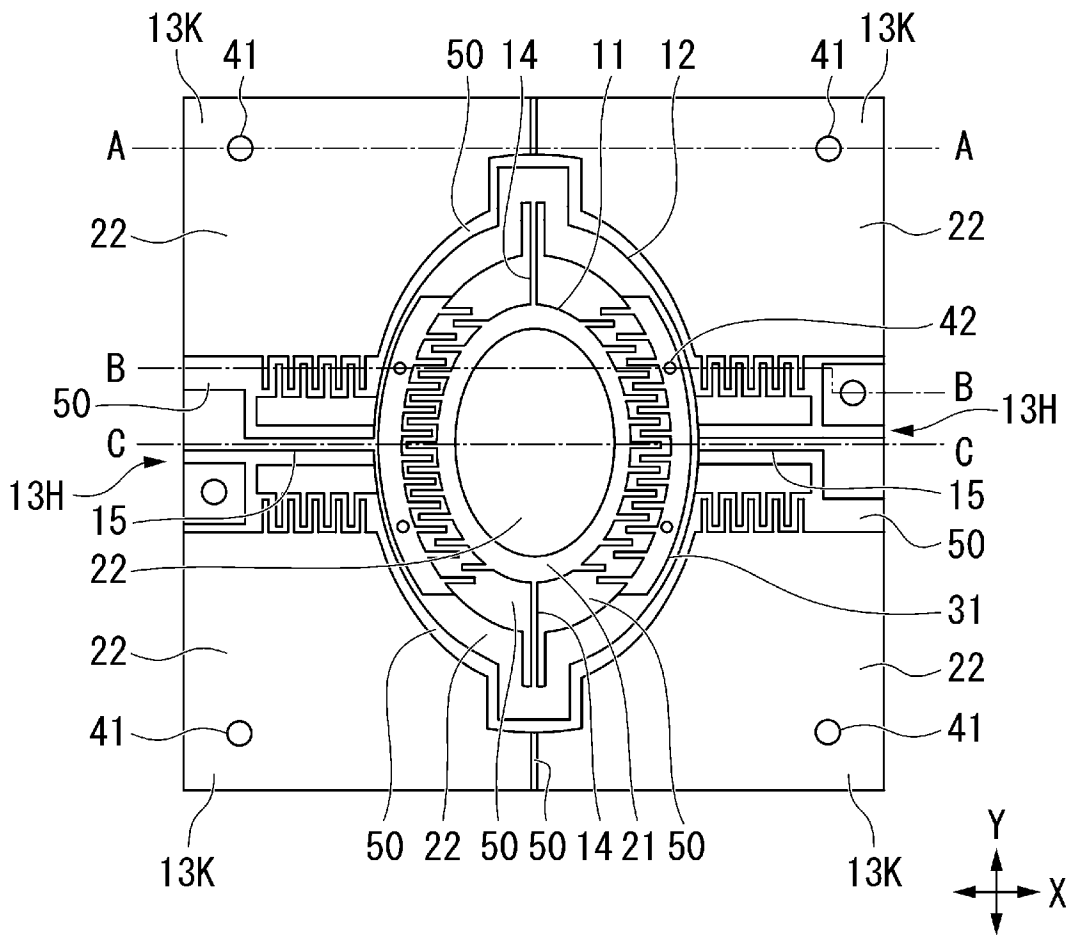
[図16-3]



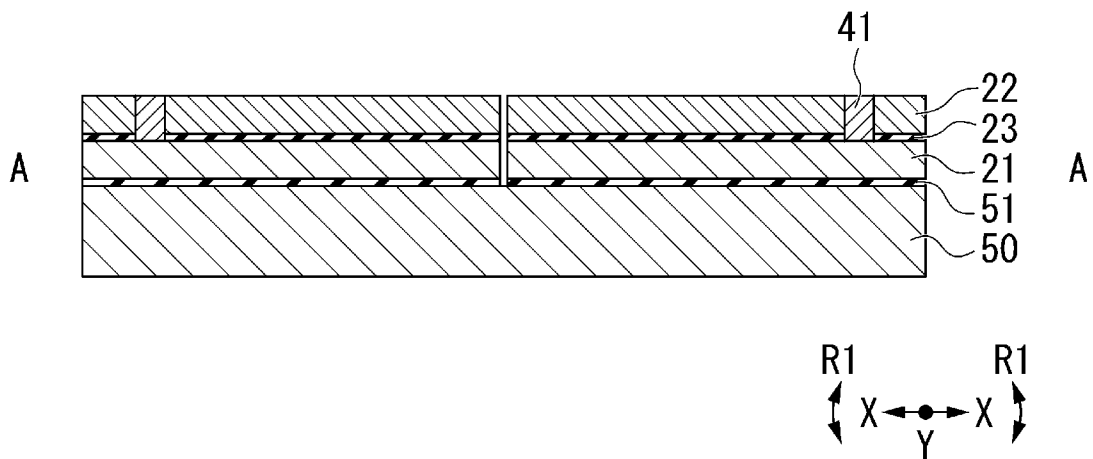
[図16-4]



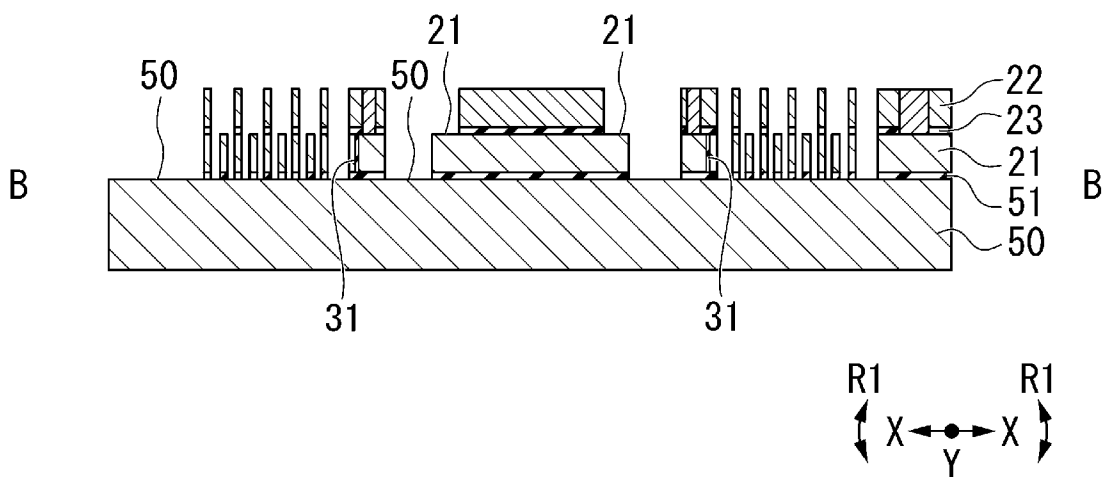
[図17-1]



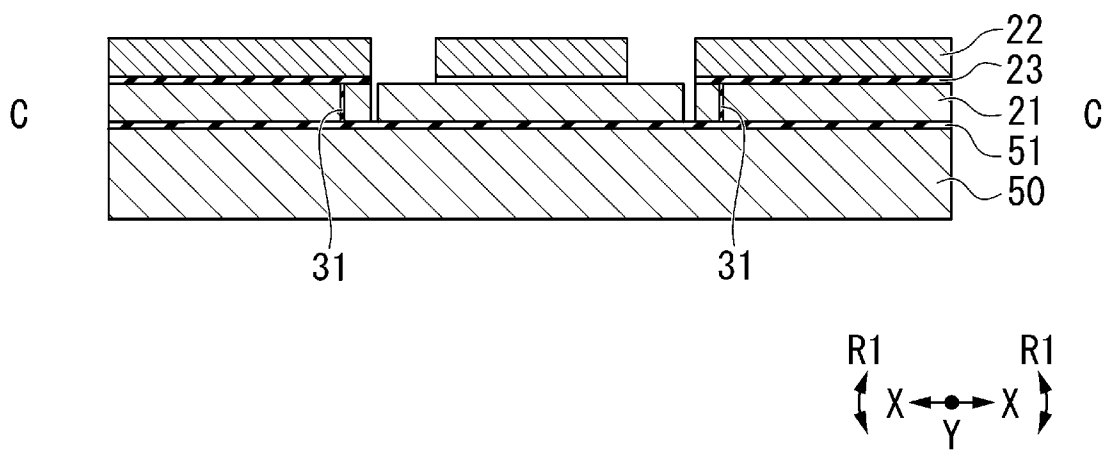
[図17-2]



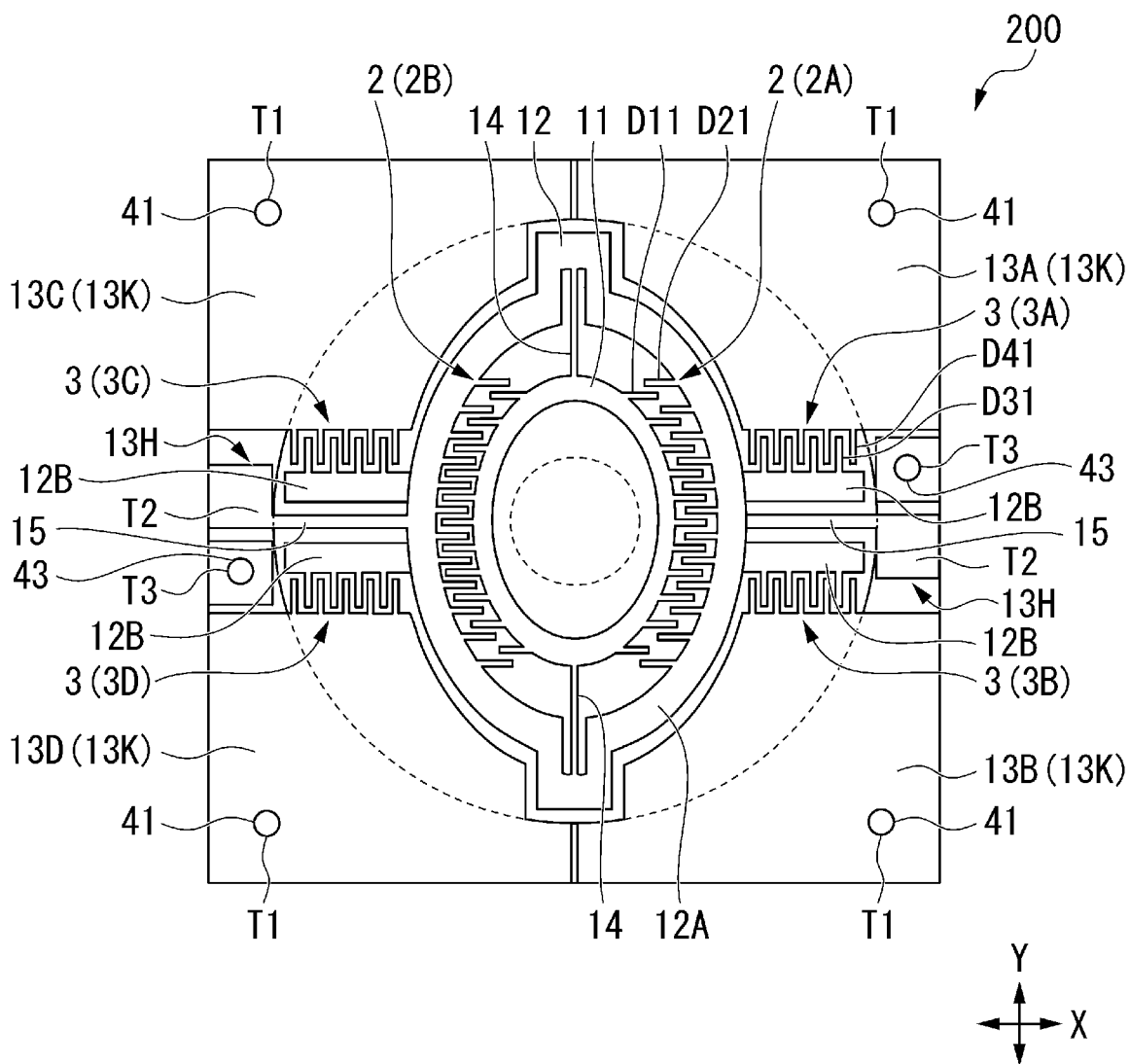
[図17-3]



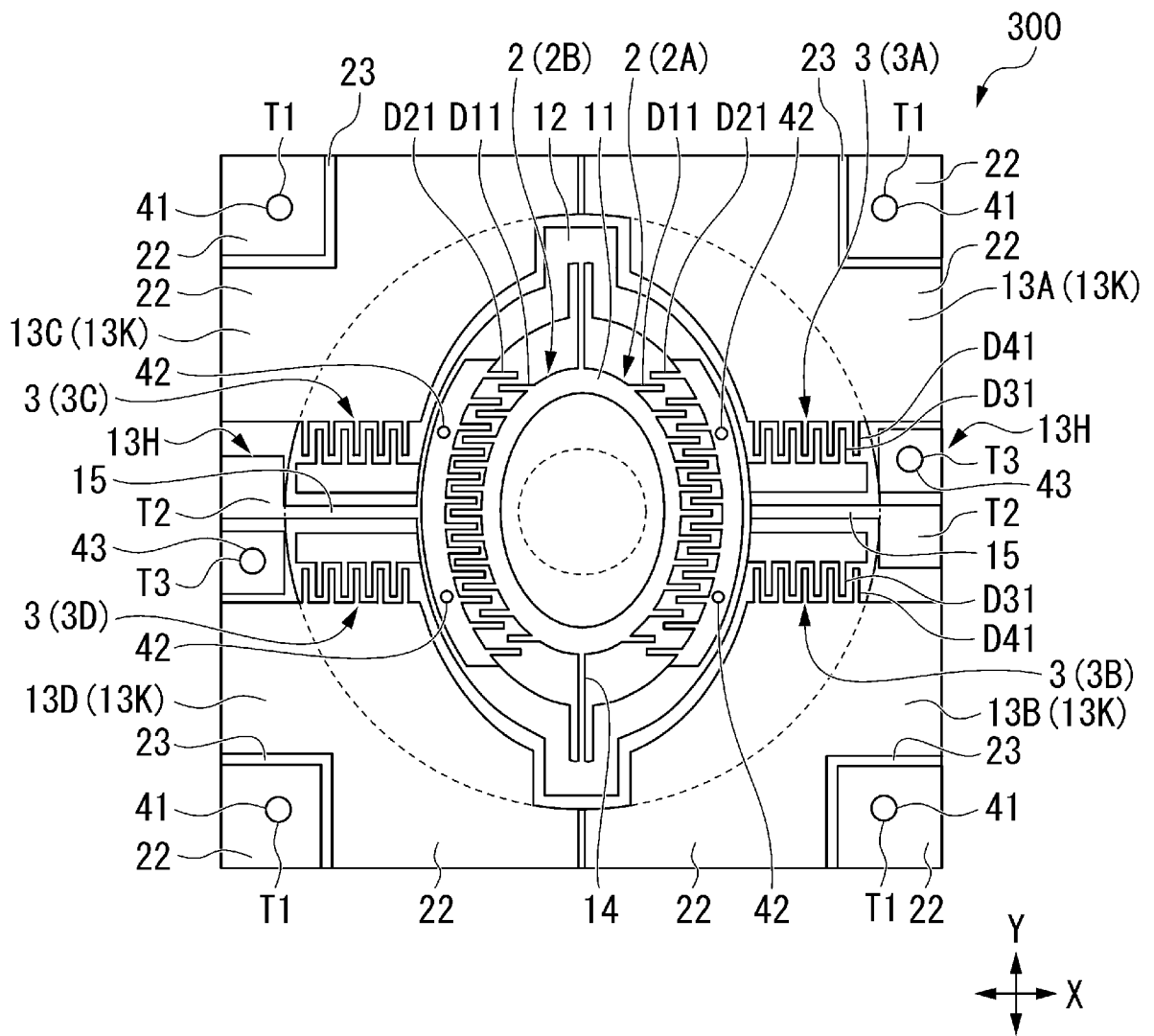
[図17-4]



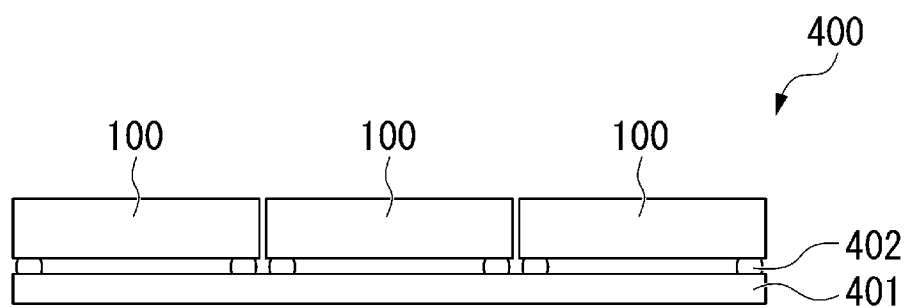
[図18]



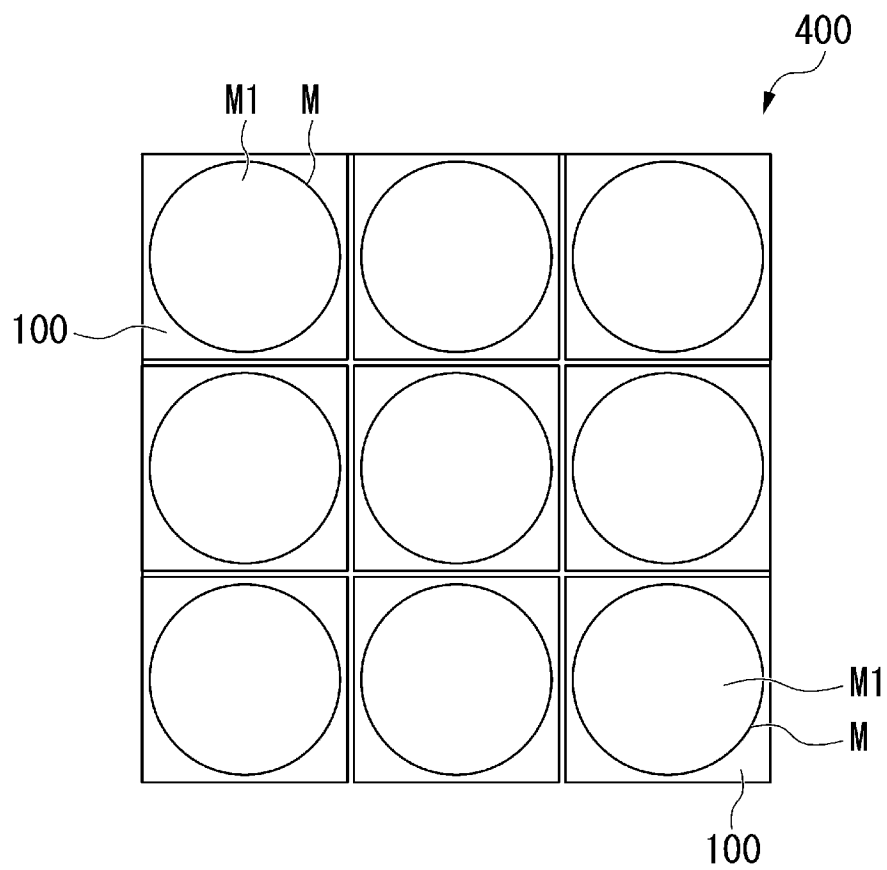
[図19]



[図20]



[図21]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/020989

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G02B 26/08</i> (2006.01)i; <i>B81B 3/00</i> (2006.01)i; <i>G02B 6/35</i> (2006.01)i FI: G02B26/08 E; G02B6/35; B81B3/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B26/08-26/10; B81B3/00; G02B6/35		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2014-123020 A (SEIKO EPSON CORPORATION) 03 July 2014 (2014-07-03) entire text, all drawings	1-21
A	CN 108152801 A (WUXI INFISENCE TECHNOLOGY CO., LTD.) 12 June 2018 (2018-06-12) entire text, all drawings	1-21
A	JP 2008-55516 A (FUJITSU LIMITED) 13 March 2008 (2008-03-13) entire text, all drawings	1-21
A	JP 2008-96672 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 24 April 2008 (2008-04-24) entire text, all drawings	14-21
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 31 July 2023		Date of mailing of the international search report 08 August 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2023/020989

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2014-123020 A	03 July 2014	US 2014/0177020 A1 entire text, all drawings	

CN 108152801 A	12 June 2018	(Family: none)	

JP 2008-55516 A	13 March 2008	US 2008/0054758 A1 entire text, all drawings	
		KR 10-2008-0021506 A	
		CN 101135774 A	

JP 2008-96672 A	24 April 2008	US 2009/0323149 A1 entire text, all drawings	
		WO 2008/020646 A1	
		CA 2659311 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 26/08(2006.01)i; B81B 3/00(2006.01)i; G02B 6/35(2006.01)i FI: G02B26/08 E; G02B6/35; B81B3/00		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B26/08-26/10; B81B3/00; G02B6/35 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2014-123020 A (セイコーエプソン株式会社) 03.07.2014 (2014-07-03) 全文, 全図	1-21
A	CN 108152801 A (WUXI INFISENCE TECHNOLOGY CO., LTD.) 12.06.2018 (2018-06-12) 全文, 全図	1-21
A	JP 2008-55516 A (富士通株式会社) 13.03.2008 (2008-03-13) 全文, 全図	1-21
A	JP 2008-96672 A (日本電信電話株式会社) 24.04.2008 (2008-04-24) 全文, 全図	14-21
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	31.07.2023	国際調査報告の発送日 08.08.2023
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 鈴木 俊光 2L 9115 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
 PCT/JP2023/020989

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2014-123020 A	03.07.2014	US 2014/0177020 A1 全文, 全図	
CN 108152801 A	12.06.2018	(ファミリーなし)	
JP 2008-55516 A	13.03.2008	US 2008/0054758 A1 全文, 全図	
		KR 10-2008-0021506 A	
		CN 101135774 A	
JP 2008-96672 A	24.04.2008	US 2009/0323149 A1 全文, 全図	
		WO 2008/020646 A1	
		CA 2659311 A1	